



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TEEMU RAHKONEN
ESINEIDEN INTERNET YLIOPISTOKIINTEISTÖISSÄ –
DIGITAALISTEN KIINTEISTÖPALVELUIDEN KEHITTÄMINEN

Diplomityö

Tarkastajat: professori Kalle Kähkönen
ja dosentti Suvi Nenonen
Tarkastajat ja aihe hyväksytty
22. kesäkuuta 2017

TIIVISTELMÄ

Teemu Rahkonen: Esineiden internet yliopistokiinteistöissä – digitaalisten kiinteistöpalveluiden kehittäminen

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 63 sivua, 8 liitesivua

Maaliskuu 2018

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Rakennesuunnittelu

Tarkastajat: professori Kalle Kähkönen ja dosentti Suvi Nenonen

Avainsanat: Esineiden internet, IoT, kiinteistöpalvelut, yliopistokiinteistöt

Esineiden internet on muuttamassa liiketoiminnan rakenteita monilla liike-elämän osa-alueilla. Tämän nopeasti kasvavan ilmiön odotetaan vaikuttavan suuresti myös kiinteistö- ja rakennusalaan, esimerkiksi rakennusautomaatiota ja erilaisia kiinteistöpalveluita edistämällä. Samaan aikaan yliopistokiinteistöissä on noussut esille tilantarpeen muutoksesta johtuvia ongelmia, joita esineiden internetin sovelluksilla voitaisiin mahdollisesti ratkaista. Tässä työssä tutkittiin esineiden internetiä hyödyntävien digitaalisten kiinteistöpalveluiden kehittämistä yliopistokiinteistöissä, sekä palveluista saatavia hyötyjä. Tutkimuksessa hyödynnettiin kirjallisuuskatsausta, tilanhallintatyökaluja kartoittavaa kyselytutkimusta, sekä Tampereen teknillisessä yliopistossa suoritetun käytännön pilottihankkeen havainnointia. Esineiden internetiä hyödyntävän digitaalisen kiinteistöpalvelun kehittämisen avuksi laadittiin tulosten pohjalta kaksi viitekehystä: DiKiPa kehitystaulukko sekä DiKiPa arviointikaavio. DiKiPa kehitystaulukko erittelee palvelun kehittämisen vaiheita. Kyseisen viitekehysten avulla voidaan kohdistaa huomio niihin kehitysprosessin vaiheisiin, jotka ovat palvelulle asetettuja tavoitteiden mukaisesti erityisen tärkeitä. DiKiPa arviointikaavio on palvelun ominaisuuksia kuvaava diagrammi, jonka avulla palveluiden heikkouksia, vahvuuksia ja eri palvelujen välisiä eroja voidaan esittää selkeästi ja yksinkertaisesti. Tutkimuksen perusteella esineiden internetillä on lukuisia sovelluskohteita ja mahdollisuuksia kiinteistöpalveluiden eri osa-alueilla. Yksi lähemmin tarkasteltava sovelluskohde oli yliopistokiinteistöjen tilanhallintaan liittyvät työkalut, joiden käyttöä tarkasteltiin Suomen yliopistoissa. Tulosten perusteella voitiin todeta, että käytössä olevat työkalut eivät hyödynnä esineiden internetiä tai sensoreilla kerättyä reaaliaikaista dataa. Tämä tilanhallinnan työkaluja koskeva kyselytutkimus tukee kirjallisuudessa esitettyä väitettä, jonka mukaan esineiden internetin ja yleisen digitalisaation aste kiinteistö- ja rakennusosalalla on vielä alhainen. Kehityksen edetessä esineiden internetillä odotetaan kuitenkin olevan suuria vaikutuksia, jotka muuttavat vakiintuneita toimintamalleja myös kiinteistö- ja rakennusosalalla.

ABSTRACT

Teemu Rahkonen: Internet of Things in University Campuses – Development of Digital Facility Management Services

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 63 pages, 8 Appendix pages

March 2018

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Structural Engineering

Examiners: Professor Kalle Kähkönen and Adjunct Professor Suvi Nenonen

Keywords: Internet of things, IoT, facilities management services, university campuses

The internet of things is morphing the business structures in many fields. This rapidly developing phenomenon is also expected to have a great impact on the construction and real estate industry, by for example, improving the building automation and real estate services. Meanwhile, university campuses are facing challenges, brought up by changes in the usage and the needs of spaces in universities. The internet of things might provide solutions to these problems. This thesis explores the development processes and the benefits of internet of things integrated digital facility management services in the context of university campuses. The study was conducted in three parts: literature review, a survey on smart campus tools, and an observation of a pilot experiment in Tampere University of Technology. Two conceptual frameworks were developed based on the results to benefit the development process of digital facility management services: DiKiPa development table and DiKiPa evaluation chart. The DiKiPa development table focuses on the distinctive steps of the development process and helps to target the steps that affect the objective areas the most. The DiKiPa evaluation chart is a diagram that visualizes the different attributes of a service. It can be used to highlight the strengths and weaknesses of services or to compare multiple services in a clear and simple way. According to the results, the internet of things has many applications and possibilities in different fields of real estate services. One type of application, that this study focuses on, are the tools universities use for space management. The space management tools used in Finnish universities were studied and based on the results, the internet of things or real-time sensor data has not been used. The survey supports the idea found in the literary analysis, that the level of implementation of the internet of things is still low in the construction and real estate industry. However, as the technology advances, the internet of things will also start to change the common practices in the construction and real estate industry.

ALKUSANAT

Tämä tutkimus on laadittu Tampereen teknillisessä yliopistossa osana rakennustekniikan diplomi-insinööritutkintoa. Työn kirjoittaminen alkoi huhtikuussa 2017, jonka jälkeen aiheen raamit ja sisältö muotoutuivat useamman kerran päättyen lopulta tähän käsillänne olevaan opinnäytetyöhön. Tutkimuksen aikana sain tutustua esineiden internetin ja yliopistokiinteistöjen kiinnostavaan maailmaan ja oppia paljon uutta niin tutkimuksen aiheesta kuin myös itse tutkimustyöstä, kehitysprojekteista sekä myös omasta itsestäni.

Haluan kiittää ohjaajiani Tampereen teknillisen yliopiston professori Kalle Kähköstä, dosentti Suvi Nenosta sekä dosentti Olli Niemeä mielenkiintoisen ja ajankohtaisen diplomityön tarjoamisesta sekä työn ohjauksesta ja tuesta. Ilman Kallen tutkijan ammattitaitoa, Ollin visionäärisyyttä ja intoa sekä etenkin Suvin reipasta ja kannustavaa otetta olisin ollut todella hukassa työn kanssa. Kiitokset myös Kampusklubin ja rakennustuotannon ja -talouden yksikön väelle ja työtovereilleni, joiden ansiosta minun ei tarvinnut työskennellä yksinäni.

Lopuksi haluan kiittää myös ystäviäni ja läheisiäni, jotka tarjosivat usein toinen toistaan houkuttelevampia vaihtoehtoja diplomityön kirjoittamiselle, mutta jaksoivat aina muistuttaa työn loppuun viemisestä.

Espoossa, 24.3.2018

Teemu Rahkonen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tavoitteet ja rajaukset	2
1.2	Tutkimuksen suoritus	3
1.3	Tutkimusraportin rakenne	4
2.	KIINTEISTÖLIIKETOIMINNAN DIGITALISAATIO.....	5
2.1	Yliopistokiinteistöjen tilantarpeen muutos.....	5
2.2	Liiketoiminnan digitalisaatio.....	5
2.3	Smart City ja Smart Campus.....	6
3.	ESINEIDEN INTERNETIN KEHITYS	9
3.1	Mahdollistavien teknologioiden kehitys	10
3.2	Nykyinen kehitysvaihe kiinteistö- ja rakennusallalla.....	11
4.	IOT-ARKKITEHTUURI	14
4.1	Rakenne ja kerrokset	15
4.1.1	Havainnointikerros: Sensorit ja toimilaitteet	16
4.1.2	Esikäsittely: Sumulaskenta	17
4.1.3	Verkostokerros	18
4.1.4	Väliohjelmisto	18
4.2	Kiinteistöjen järjestelmät.....	20
5.	SOVELLUKSET JA PALVELUT	21
5.1	Rakenteellinen seuranta.....	22
5.2	Kiinteistöpalvelut	23
5.3	Käyttäjäpalvelut	25
6.	DIGITAALISEN KIINTEISTÖPALVELUN KÄYTTÖÖNOTTO JA HYÖDYNTÄMINEN	27
6.1	Palvelumuotoilu ja palvelun kehittäminen	27
6.2	Esineiden internetin hyödyntäminen liiketoiminnassa.....	27
6.2.1	Ekosysteemit	28
6.2.2	Lisäarvon tuottaminen.....	28
6.3	IoT-palvelun haasteet ja mahdolliset ongelmat.....	29
6.3.1	Heterogeenisyys	29
6.3.2	Datan analysointi.....	30
6.3.3	Yksityisyys ja tietoturva.....	31
6.3.4	Järjestelmän suunnittelu ja asentaminen	32
6.3.5	Luotettavuus.....	32
6.3.6	Roolit.....	33
7.	TUTKIMUKSEN EMPIIRISEN OSAN TOTEUTUS.....	34
7.1	Tutkimusmenetelmien valinta	34
7.2	Osa 1: Smart Campus Tools -tutkimus	34
7.3	Osa 2: Virtuaalinen palveluympäristö	35
8.	TULOKSET	38

8.1	Osa 1: Smart Campus Tools.....	38
8.1.1	Tutkimus Alankomaissa.....	38
8.1.2	Tutkimus Suomessa	39
8.1.3	Smart Campus Tools -tutkimuksen yhteenveto	42
8.2	Osa 2: Virtuaalinen palveluympäristö	43
8.2.1	Havainnot	43
9.	DIGITAALISTEN KIINTEISTÖPALVELUIDEN KEHITYS JA ARVIOINTI ..	45
9.1	DiKiPa kehitystaulukko	45
9.2	DiKiPa arviointikaavio.....	48
9.2.1	Käyttötapaaukset.....	50
9.2.2	Esimerkki DiKiPa arviointikaavion käytöstä.....	51
10.	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	56
10.1	Digitaalisten kiinteistöpalveluiden nykytilanne	56
10.2	Digitaalisten kiinteistöpalveluiden kehittäminen	56
10.3	Tutkimuksen rajoitukset.....	56
10.4	Tutkimuskokonaisuuden onnistumisen arviointi	57
10.5	Aiheita jatkotutkimuksiin.....	58
	LÄHTEET	59

LIITE A: SMART CAMPUS TOOLS KYSELY

LIITE B: SMART CAMPUS TOOLS SOVELLUSTEN TAVOITTEET

LYHENTEET JA MERKINNÄT

6LoWPAN	IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks, IPv6 protokollaa tukeva matalan tehon langaton likiverkko
API	Application Programming Interface, ohjelmointirajapinta
BAC	Building Automation Control, rakennusautomaation ohjaus
BLE	Bluetooth Low Energy, matalan tehon Bluetooth -tekniikka
BMS	Building Management System, rakennuksen hallintajärjestelmä
CoAP	Constrained Application Protocol, teknisesti rajoittuneiden laitteiden viestintäprotokolla
CSV	Comma separated values, taulukkomuotoinen tekstipohjainen tiedostomuoto
CWC	Centre for Wireless Communications, langattoman viestinnän keskus Oulun yliopistossa
DALI	Digital Addressable Lightning Interface, digitaalinen valaistuksen ohjausväylä
DiKiPa	Digitaalinen kiinteistöpalvelu
GPS	Global Positioning System, satelliittipaikannusjärjestelmä
ICT	Information and Communication Technology, tietotekniikka
IoE	Internet of Everything, kaiken yhdistävä internet
IoT	Internet of Things, esineiden ja asioiden internet
IPv4	Internet Protocol version 4, Internet Protokollan neljäs versio
IPv6	Internet Protocol version 6, Internet Protokollan kuudes versio
LaaS	Lighting as a Service, valaistus palveluna
LWM2M	Lightweight M2M, Open Mobile Alliancen kehittämä protokolla laitteiden hallinnointiin ja kommunikointiin
M2M	Machine-to-Machine (communication), laitteiden välinen kommunikatio
MQTT	Message Queue Telemetry Transport, teknisesti rajoittuneiden laitteiden viestintäprotokolla

NFC	Near Field Communication, laitteiden lyhyiden etäisyyksien väliseen kommunikointiin tarkoitettu teknologia
REST	Representational State Transfer, arkkitehtuurimalli ohjelmointirajapintojen toteuttamiseen
RFID	Radio Frequency Identification, radiotaajuinen etätunnistusmenetelmä
SaaS	Software as a Service, ohjelmiston hankkiminen palveluna
TTY	Tampereen teknillinen yliopisto
VIRPA-C	Virtuaalinen palveluympäristö C -yhteishanke
VOC	Volatile Organic Compound, haihtuvat orgaaniset yhdisteet
W3C	World Wide Web Consortium, WWW-standardeja ylläpitävä maailmanlaajuinen organisaatioiden yhteenliittymä
WSN	Wireless Sensor Network, langaton sensoriverkko

1. JOHDANTO

Internetin kehitys on viimeisen parin kymmenen vuoden aikana muokannut ja uudistanut toimintaa lähes jokaisella liike-elämän osa-alueella. Seuraava suuri muutos on jo alkamassa, kun esineiden ja asioiden internet (IoT) mahdollistaa lukemattomien fyysisten esineiden välisen kommunikaation sekä niiden ohjaamisen langattoman tietoverkon avulla. IoT:n toisiinsa kytkettyjen sensoriverkkojen avulla on mahdollista kerätä tietoa fyysisestä ympäristöstä, tapahtumista sekä toimenpiteistä, mikä tuo uusia mahdollisuuksia ja tarkkuutta erilaisten prosessien hallintaan. Konseptia voidaan hyödyntää lukemattomiin kohteisiin, jotka on mahdollista yhdistää keskenään kaiken kattavaksi verkostoksi. Tästä johtuen puhutaan myös kaiken internetistä (IoE). Johtuen IoT:n merkittävästä potentiaalista teollisuuden alalla, vastaavaa järjestelmää voidaan kutsuta myös teolliseksi internetiksi.

Tämä uusi teknologian muutos tuo paitsi uusia mahdollisuuksia, myös uudenlaisia riskejä ja haasteita. IoT:n kehitys on vielä suhteellisen aikaisessa vaiheessa, mutta ilmiö kasvaa nopeasti. Yhdistettyjä laitteita on arvioiden mukaan vuonna 2017 noin 8,4 miljardia, ja luvun odotetaan kasvavan yli 20 miljardiin vuoteen 2020 mennessä (Gartner 2017). IoT:iin liittyy paljon avoimia kysymyksiä esimerkiksi standardeihin, liiketoimintamalleihin ja turvallisuuteen liittyen. Odotettavissa olevan nopean muutokseen ja sen asettamiin haasteisiin on kuitenkin syytä varautua mahdollisimman pian.

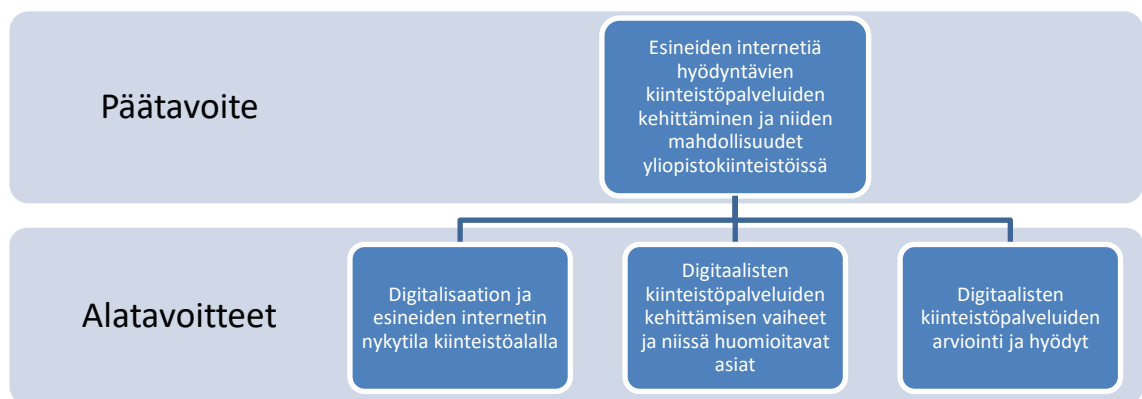
IoT tulee oletettavasti vaikuttamaan suuresti myös kiinteistö- ja rakennusalaan. Lupaavia kehityskohteita ovat esimerkiksi rakennusautomaatio ja erilaiset kiinteistöpalvelut, jotka voivat hyötyä IoT-sensoriverkkojen ja rakennusten hallintajärjestelmien yhdistämisestä. Vaikka liiketoiminnan digitalisointi on Suomessa vielä alkuvaiheessa, se nähdään kiinteistö ja rakennusalaalla tulevaisuuden kannalta merkittävänä sijoituskohteena (Puhto 2016). Digitaalisen kiinteistöpalvelun kehittäminen on siten erittäin ajankohtainen ja kiinteistöjen kehittymisen kannalta tärkeä aihe. Uuden teknologian käyttöönottoaminen saattaa usein olla iso riski, mutta sen tuomat hyödyt voivat olla toiminnan tehokkuuden ja tulevaisuuden kannalta erittäin merkittäviä.

Tässä työssä on tutkittu esineiden internetiä hyödyntävien kiinteistöpalveluiden kehittämistä erityisesti yliopistokiinteistöihin. Yliopistokiinteistöjen tilojen tarve on muuttamassa perinteisestä staattisesta mallista, jossa jokaiselle toiminnolle on oma erillinen tila, kohti dynaamisempaa tilojen käyttöä, joka ilmenee muun muassa monikäyttöisten opiskelutilojen yleistymisenä (Rytönen 2015). IoT:n avulla yliopistokiinteistöjä ja tilojen käyttöä voidaan mahdollisesti kehittää tehokkaampaan suuntaan, ja siten edistää yliopistojen toimintaa esimerkiksi juuri tilankäytössä.

Tutkimus on tehty osana Virtuaalinen palveluympäristö VIRPA-C hanketta, jossa digitaalisia kiinteistöpalveluita tutkitaan ja kehitetään monialaisessa projektissa. Työn ohjaajina toimivat Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) professori Kalle Kähkönen, dosentti Suvi Nenonen, sekä dosentti Olli Niemi Suomen Yliopistokiinteistöt Oy:stä. Tutkimuksen suoritti tekn. kand. Teemu Rahkonen.

1.1 Tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen keskeisimpänä tavoitteena oli arvioida esineiden internetin mahdollisuuksia yliopistokiinteistöihin sijoitetuissa kiinteistöpalveluissa. Pyrkimyksenä oli selvittää, kuinka esineiden internetiä hyödyntävien kiinteistöpalveluiden suunnittelu ja toteutus tapahtuvat, sekä mitä vaikutuksia valmiilla ratkaisuilla on. Tutkimuksessa pyrittiin kartoittamaan valmiiden sovellusten merkittävimmät hyödyt sekä mahdolliset ongelmakohdat, joihin tulee kiinnittää erityistä huomiota kiinteistöpalveluiden kehittämisessä. Tutkimuksen tavoitteet on esitetty kuvassa (Kuva 1).



Kuva 1. Tutkimuksen tavoitteet.

Tutkimuksen pää tavoitteeksi on asetettu esineiden internetiä hyödyntävien kiinteistöpalveluiden kehittämisen ja niiden mahdollisuuksien selvittäminen yliopistokiinteistöissä. Pää tavoite jakautuu kolmeen aihealueeseen, joiden selvittäminen muodostaa tutkimuksen alatavoitteet. Nämä alueet ovat digitalisaation ja esineiden internetin nykytila kiinteistöalalla, palveluiden kehittämisen vaiheet ja niissä huomioitavat asiat, sekä digitaalisten kiinteistöpalveluiden arviointi ja hyödyt. Ensimmäiseen alatavoitteeseen, digitalisaation ja esineiden internetin nykytilaan kiinteistöalalla, on tässä tutkimuksessa liitetty myös Suomen yliopistojen kiinteistöpalveluiden digitalisaation selvittäminen osana kansainvälistä kehitystä.

Tutkimuksessa käsitellään esineiden internetiä, sen teknologiaa, haasteita ja mahdollisuuksia yliopistokiinteistöjen ja kiinteistöpalvelujen näkökulmasta. Palvelut on rajattu kattamaan pelkästään kiinteistöpalvelut, rakenteellinen seuranta sekä kiinteistöön liittyvät käyttäjäpalvelut. Muut yliopistokiinteistöjen palvelut, kuten opetukseen tai tutkimukseen liittyvät sovellukset on siten jätetty tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

Palvelun voidaan katsoa koostuvan yhdestä tai useasta teknisestä sovelluksesta, sekä muusta palveluun liittyvästä toiminnallisesta ja hallinnollisesta järjestelystä. Termejä *palvelu* ja *sovellus* on kuitenkin tässä työssä käytetty merkitsemään samaa digitaalisen kiinteistöpalvelun kokonaisuutta.

Virpa-C -hanke kattaa aihealueita, jotka eivät kuulu tämän tutkimuksen piiriin, joten sitä selvitetään vain tämän työn kannalta oleellisin osin. Virpa-C hankkeen aikataulu jatkuu myös tämän tutkimuksen aikataulun ulkopuolelle, joten siitäkin syystä kyseistä hankkeesta käsitellään vain tämän tutkimuksen loppuun mennessä valmistuneet osat.

1.2 Tutkimuksen suoritus

Tutkimus alkoi kirjallisuusanalyysillä, jossa selvitettiin kiinteistöliiketoiminnan digitalisaatiota, esineiden internetin kehitystä ja teknologiaa sekä esineiden internetiä hyödyntäviä digitaalisia sovelluksia kiinteistöalalla ja erityisesti yliopistokiinteistöissä. Analyysissä keskityttiin myös digitaalisten kiinteistöpalveluiden käyttöönottoon, niiden haasteisiin, sekä niistä saataviin hyötyihin. Kirjallisuusanalyysissä käytiin läpi aiheista julkaistu tutkimustieto mahdollisimman monipuolisesti ja poimittiin oleellimmat kohdat raporttiin.

Kirjallisuustutkimusta täydentää käytännön tutkimusaineisto, joka on kerätty kahdessa osassa. Ensimmäinen osa on Smart Campus Tools -kyselytutkimus yliopistojen käyttämistä tilanhallintaan liittyvistä älykkäistä sovelluksista. Toinen osa on Virtuaalinen palveluympäristö, joka koostuu digitaalisen kiinteistöpalvelun luomiseen tähtäävän Virpa-C pilottikohteen aikana tehdyistä havainnoista.

Kyselytutkimus pohjautuu Alankomaissa suoritettuun yliopistojen älykkäitä työkaluja kartoittavaan tutkimukseen. Tässä työssä suoritettiin vastaava kysely Suomen yliopistoille, jolloin saatiin tietoa paitsi yksittäisen maan yliopistoista, myös aineistoa kansainväliseen vertailuun. Alkuperäiset kysymykset käännettiin suomeksi ja sähköinen kyselylomake lähetettiin Suomen yliopistojen kiinteistöpalveluista vastaaville henkilöille. Vastajat olivat yliopistojen tilapalveluiden tai IT-palveluiden työntekijöitä.

Virpa-C hankkeeseen kuuluu useita pilottikohteita. Tässä tutkimuksessa keskityttiin Tampereen teknillisen yliopiston Kampusareenan pilottiin, jossa kehitettiin kiinteistön sensoriverkostoa hyödyntävää digitaalista kiinteistöpalvelua. Tutkimusaineisto koostuu pilotin kokousten perusteella kerätyistä havainnoista.

Kirjallisuusanalyysi, kyselytutkimuksen tulokset, sekä pilottikohteen havaintotiedot yhdistämällä luotiin kattava kuva digitaalisten kiinteistöpalveluiden tilasta ja kehittämisestä yliopistokiinteistöissä. Tulosten pohjalta luotiin kaksi viitekehystä, joiden tarkoituksena on auttaa digitaalisen kiinteistöpalvelun kehittämisessä ja arvioinnissa.

1.3 Tutkimusraportin rakenne

Tutkimusraportti alkaa kirjallisuuskatsauksella, joka kattaa luvut 2 – 6. Katsaus alkaa kiinteistöliiketoiminnan nykytilan ja digitalisaation selvityksestä, erityisesti yliopistokiinteistöjen näkökulmasta. Tämän jälkeen, luvussa 3, käsitellään esineiden internetin kehitystä yleisesti, jonka jälkeen siirrytään tarkempaan selvitykseen IoT:n arkkitehtuurista ja teknologioista (luku 4). Viidennessä luvussa käsitellään IoT:n sovelluksia ja kiinteistöpalveluita, jotka on jaettu kolmeen yliopistokiinteistöjen osa-alueeseen: Kiinteistöpalvelut, rakenteellinen seuranta sekä käyttäjäpalvelut. Kirjallisuuskatsauksen päättää luku 6, jossa käsitellään digitaalisten kiinteistöpalveluiden käyttöönottoa, sekä niiden haasteita ja mahdollisuuksia.

Kirjallisuusanalyysin jälkeen siirrytään käsittelemään työhön liittyvää käytännön tutkimusta. Luvussa 7 esitetään tutkimuksen suorittaminen, erikseen osille 1 ja 2. Näiden osien tulokset on esitetty luvussa 8. Luku **Virhe. Viitteen lähdettä ei löytynyt.** kattaa tutkimustulosten perusteella luodut viitekehykset digitaalisten palveluiden kehittämiseen arviointiin. Viimeisessä luvussa ovat tutkimuksen pohjalta tehdyt johtopäätökset.

2. KIINTEISTÖLIIKETOIMINNAN DIGITALISAATIO

2.1 Yliopistokiinteistöjen tilantarpeen muutos

Yliopistojen tilantarve on muuttumassa ennalta määrättyjen, yhteen tarkoitukseen luotujen tilojen tarpeesta kohti dynaamista tilojen käyttöä, jossa eri käyttäjäryhmät voivat hyödyntää yhteisiä, monipuolisia tiloja. Tilojen muutos tukee ihmisläheistä ajattelutapaa, missä tilat palvelevat ihmisen päivittäisiä rutiineja ja omia valintoja sen sijaan että tilat rajoittaisivat käyttäjien toimintaa. Tilojen muutos vaikuttaa myös kiinteistöpalvelujen ja kiinteistönhallinnan kehitykseen, joiden on pysyttävä muutoksessa mukana (Rytönen 2015).

Samaan aikaan yliopistot taistelevat myös monien kiinteistönhallinnan ongelmien kanssa. Vaikeuksia aiheuttavat muun muassa rahoituksen riittämättömyys, liiketoiminnan jatkuvuussuunnittelu, lakisääteisten vaatimusten noudattaminen, kestävä kehitys, teknologian kehityksessä mukana pysyminen, toiminnan tehokkuus, sidosryhmien tarpeiden tunnistaminen ja täyttäminen, kunnossapito sekä riittävä työvoima. Merkittävin huolenaihe on rahoituksen riittämättömyys, mikä toimii useiden ongelmien aiheuttajana (Aishah Kamarazaly *et al.* 2013). Yliopistojen tilojen käyttöaste on usein matala, mikä lisää omalta osaltaan tilojen ylläpitokustannuksia suhteessa tiloista saatavaan hyötyyn. Tilojen käyttöä tehostamalla ja siten myös tilojen ylläpitokustannuksia laskemalla on mahdollista investoida kiinteistönhallinnassa säästettyjä kustannuksia yliopistojen perustoimintoihin, kuten opetuksen ja tutkimuksen tukemiseen.

2.2 Liiketoiminnan digitalisaatio

Teknologian hyödyntäminen antaa yrityksille mahdollisuuden edistää omia liiketoiminnan prosesseja sekä saada siten etua kilpailijoihin. Lin *et al.* (2009) mukaan pienet ja keskisuuret yritykset voivat hyötyä merkittävästi liiketoiminnan digitalisoinnista. Hyöty saavutetaan tiedon hankinnan, välityksen, tulkinnan ja levittämisen kautta, mitkä tehostuvat huomattavasti prosessien digitalisoinnilla.

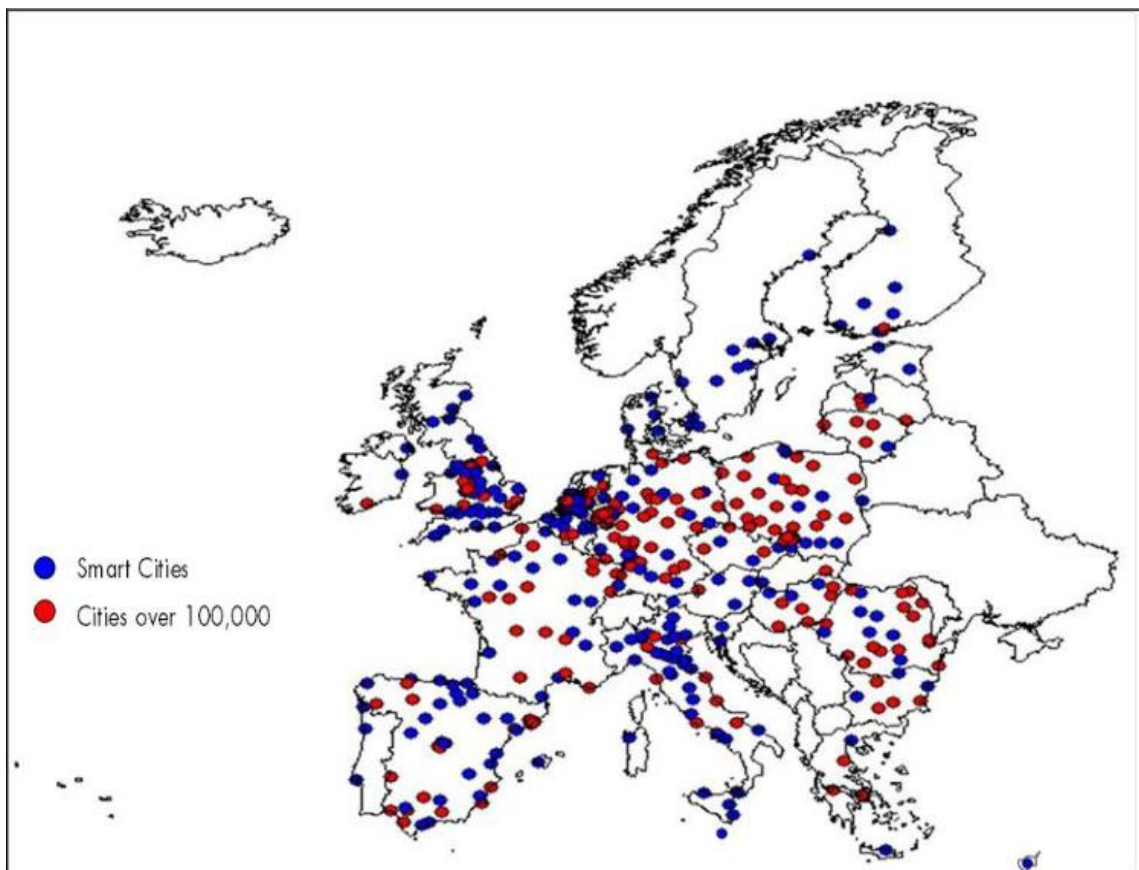
Kiinteistö- ja rakennusalaalla digitaalisuuden kehitys on vielä muita toimialoja jäljessä. Digitaalisuuteen investoidaan kuitenkin yhä enemmän ja se nähdään tulevaisuuden kannalta merkittävänä sijoituskohteena. Digitalisoinnilla tavoitellaan paitsi toimintojen tehokkuuden parantamista ja kustannusten vähentämistä, myös edistynyttä vuorovaikutusta sekä organisaation sisällä, että muiden osapuolten kanssa. Yhtenä syynä digitalisaation hitauteen kiinteistö- ja rakennusalaalla ovat organisaatioiden kankeus sekä lopputuotteena toimivien rakennusten pitkä elinkaari. Suurten uudistusten tekeminen on pitkäkestoisissa

projekteissa riskialtista, eikä nopeasti muuttuviin teknologiatrendeihin siksi haluta lähteä mukaan. Muita syitä digitalisaation hitauteen on katsottu olevan teknologian hyödyntämiseen tarvittavan tietotaidon sekä ulkoisen paineen puute. (Puhto 2016).

2.3 Smart City ja Smart Campus

Yksi näkyvä kiinteistöjen sekä asuin- ja toimintaympäristöjen digitalisaation ilmiö on ympäri maailmaa käynnistettyjen Smart City -hankkeiden yleistyminen. Näissä hankkeissa pyritään teknologiaa hyödyntämällä tekemään elinympäristöstä edistyksellisempiä ja älykkäämpiä. Useissa hankkeissa tämä on toteutettu tuomalla sensoridataa ja älykkäitä tietojärjestelmiä hyödyntäviä sovelluksia kaupunkiympäristöön asukkaiden testattavaksi.

Smart City on liukuva käsite, jolle on monta eri määritelmää näkökulmasta riippuen. Jokainen Smart Cityksi itseään kutsuva kaupunki voi perustella nimikettä omalla tavallaan. Ilmiöstä on tullut todella laaja, mistä kertoo myös Euroopan Unionin (EU) teollisuuden, tutkimuksen ja energian valiokunnan suorittama tutkimus. Sen perusteella Euroopan Unionin alueella olevista 468 yli 100 000 asukkaan kaupungista 240 voidaan luokitella Smart Cityiksi (ks. Kuva 2) (Manville *et al.* 2014).

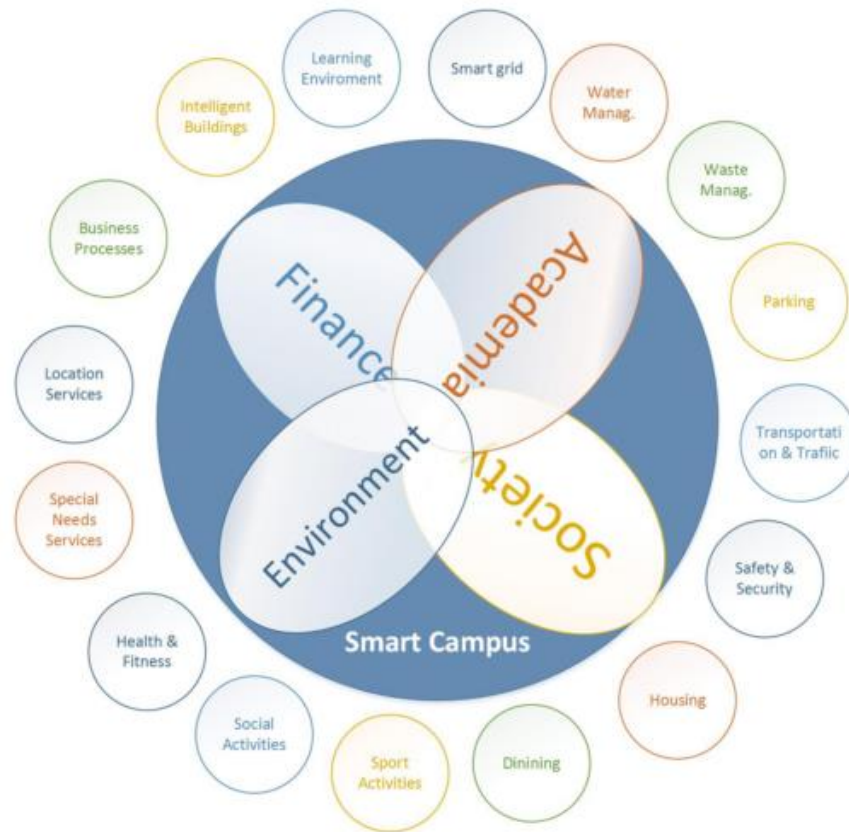


Kuva 2. EU:n Smart City -kaupungit (sinisellä) sekä yli 100 000 asukkaan kaupungit, joita ei ole luokiteltu Smart Cityiksi (punaisella) (Manville *et al.* 2014).

Ilmiön laajuus ei kuitenkaan sinänsä kerro suoraan kiinteistö- ja rakennusalan teknologiakehityksestä, vaan hankkeet saattavat kohdistua myös muihin kaupungin ja julkisen hallinnon toimialoihin. EU:n tutkimuksessa Smart City määritellään kaupungiksi, joka pyrkii käsittelemään julkisia kysymyksiä tieto- ja viestintätekniikkaan perustuvien ratkaisujen avulla usean sidosryhmän ja kunnallisen kumppanuuden pohjalta (Manville *et al.* 2014).

Sama ilmiö on nähtävissä myös yliopistoissa, joissa tutkimusryhmät käyttävät kampusta ja sen opiskelijoita testausalustana yliopistoympäristön älykkäitä järjestelmiä kehittävässä Smart Campus -hankkeissa. Smart Campus-hankkeet kohdistuvat edellisestä poiketen hyvin rajattuun ympäristöön ja keskittyvät myös usein pelkästään yliopistoissa esiintyviin aihepiireihin. Kampukset ovat kuitenkin myös kaupunkeja pienoiskoossa, ja soveltuvat siksi myös yleisluontoisten teknologiaa hyödyntävien sovellusten testaamiseen, antaen arvokkaita näkökulmia kyseisten ratkaisujen hyödyntämiseen edelleen kaupunkiympäristössä (Alghamdi & Shetty 2016).

Smart Campus -konsepteihin liittyy lukuisia sovellus- ja vaikutusalueita, joita Alghamdi ja Shetty (2016) ovat seuraavassa kuvassa havainnollistaneet (Kuva 3). Heidän määrittelemän Smart Campus -konseptin perimmäisenä tavoitteena on säästää kustannuksia sekä tarjota korkealaatuisia palveluja.



Kuva 3. *Smart Campus* konseptiin liittyviä sovellus- ja vaikutusalueita (Alghamdi & Shetty 2016).

Kuvan 3 Smart Campus -sovellusalueet liittyvät neljään yliopistoissa yhdistyvään peruselementtiin: Opetus, yhteisö, ympäristö ja talous. Käytännön sovellukset sijoittuvat joihinkin näistä elementeistä tai niiden yhdistelmiin.

Monien konseptiin liitettävien sovellusten perusta on tieto- ja viestintätekniikalla varustettu älykäs rakennus, jonka toiminnollisuuksia ja ominaisuuksia voidaan langattomasti seurata. Kyseisen monitoroinnin mahdollistamiseksi on rakennettava tarvittava tietotekninen infrastruktuuri, joka koostuu yksinkertaisimmillaan tietoverkosta, servereistä sekä joukosta erilaisia sensoreita. Rakennuksen seurannan monipuolisuus määräytyy sensoreiden mukaan. Sensoreilla pystytään esimerkiksi mitata tilojen hiilidioksiditasoja, lämpötilaa, ilmankosteutta ja saastuneisuutta, tunnistaa tilassa olevien ihmisten määrä tai mitata laitteiden ja valaistuksen energiankulutusta. Myös rakenteiden värinän ja muodonmuutosten mittaaminen on mahdollista (Alghamdi & Shetty 2016).

3. ESINEIDEN INTERNETIN KEHITYS

Esineiden ja asioiden internet on monimuotoinen käsite, mille on kehitetty useita erilaisia määritelmiä. Monilla tahoilla on omat visionsa siitä, millainen IoT tulee lopulta olemaan, tai siitä, millainen sen pitäisi olla. Alkuperäisen termin esitti ensimmäisen kerran Auto-ID Centerin perustajajäsen Kevin Ashton vuonna 1999, jolloin hän määritteli sen yksilöllisillä RFID-tunnisteilla varustettujen yhteistyössä toimivien esineiden verkoksi. Myöhemmissä määrittelyissä tunnistetekniikka ei rajoitu pelkästään RFID-tunnisteisiin, mutta perusidea on sama: Jokainen esine on yksilöllisesti tunnistettavissa ja kaikki ovat verkon välityksellä yhteydessä toisiinsa (Li *et al.* 2015).

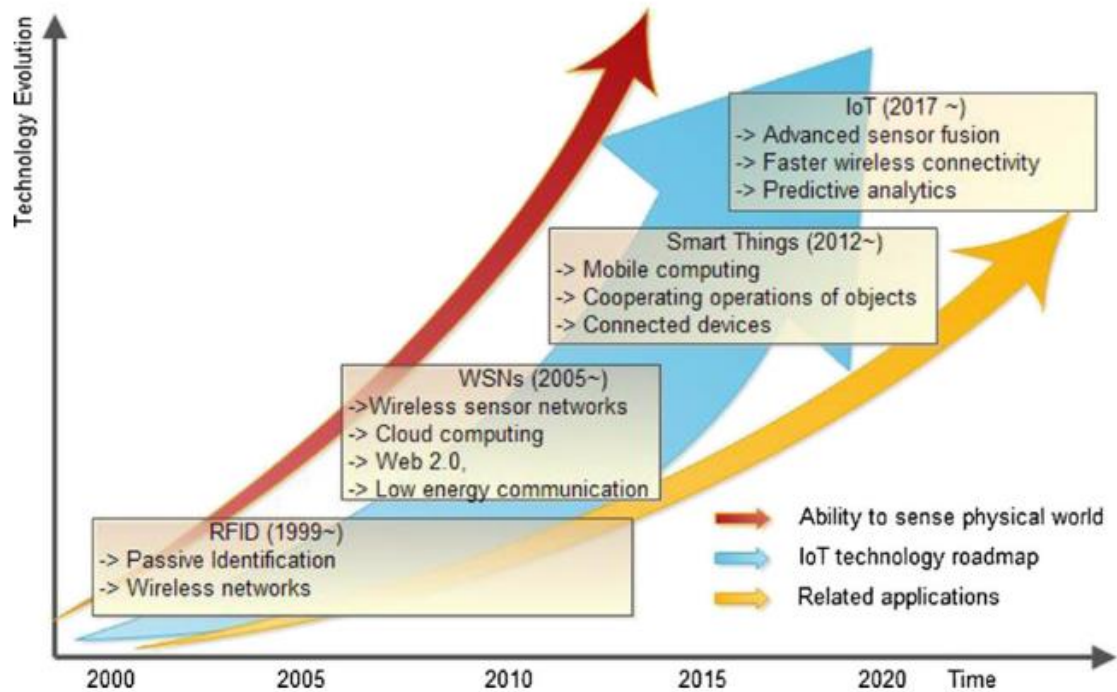
Haller *et al.* esittivät IoT:lle teknologiasta riippumattoman määritelmän erityisesti liiketoiminnan näkökulmasta. Tämän määritelmän mukaan IoT on maailma, jossa fyysiset esineet integroituvat saumattomasti tietoverkkoon ja jossa nämä fyysiset esineet voivat toimia aktiivisesti liiketoiminnan prosesseissa. Näiden ”älykkäiden esineiden” kanssa vuorovaikuttamiseen on olemassa internetin välityksellä toimivia palveluita, joilla niihin liittyviä ominaisuuksia ja tietoja voidaan seurata ja käsitellä, yksityisyys ja tietoturva huomioon ottaen. (Haller *et al.* 2009).

Edellä mainitut määritelmät keskittyvät esineiden väliseen kommunikaatioon ja yhteistoimintaan, mutta jättävät mainitsematta monissa määritelmissä esiintyvän erilaisilla sensoreilla suoritettavan ympäristön ominaisuuksien havaitsemisen. Tämä huomioiden IoT voidaan myös katsoa olevan arkipäiväisten esineiden varustamista tunnistautumis-, havainnointi- ja prosessointiominaisuuksilla, mitkä mahdollistavat niiden internetin välityksellä tapahtuvan tiedonvälityksen muiden esineiden ja palveluiden kanssa yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi (Whitmore *et al.* 2015).

IoT-teknologioita ja sovelluksia kehitetään ympäri maailmaa. Esimerkiksi Euroopan Unioni investoi vuosien 2014-2017 aikana lähes 200 miljoonaa euroa IoT-hankkeisiin (European Commission 2016). Kehityksestä on tullut kaupallista, mistä kertoo monien suurten yhtiöiden osallistuminen omilla IoT-palveluillaan. Esimerkiksi Amazon, Microsoft, IBM, Cisco, Intel ja Google ovat olleet aktiivisia omien IoT-projektiensa kehittämisessä (IoT analytics 2017). Osa yhtiöistä on kehittänyt jo valmiita kaupallisia tuotteita. Suurin osa aiheeseen liittyvästä tällä hetkellä julkaistusta tieteellisestä kirjallisuudesta keskittyy teknologiaan, mutta ilmiön ajan mittaan kypsyessä ja vakiintuessa IoT:n voidaan odottaa leviävän laajemmin myös muille tutkimusaloille (Whitmore *et al.* 2015).

3.1 Mahdollistavien teknologioiden kehitys

Vaikka IoT on vielä melko varhaisessa kehitysvaiheessa, on siihen tarvittava perimmäinen teknologia jo olemassa. 2000-luvun aikana teknologia on kehittynyt suuntaan, joka tuo esineiden internetiä vaiheittain lähemmäs todellisuutta (ks. Kuva 4).



Kuva 4. Esineiden internetin evoluutio (Li et al. 2015).

Kuva 1 esittää, kuinka IoT:n evoluutio alkoi RFID-teknologian kehittyessä ja kuinka langattoman tiedonsiirron kehitys, pilvilaskenta, matalan energian teknologiat sekä sensori-tekniikan edistyminen ovat osaltaan vauhdittaneet sen kasvua.

RFID-teknologian kehitys on omalta osaltaan mahdollistanut sen, että esine pystyy hyvin yksinkertaisen teknologian avulla välittämään yksilöllisen tunnuskoodin ympäristöönsä digitaalisesti ja langattomasti. Tämä ominaisuus on luonut pohjan lisätoiminnollisuuksien kehittämiseksi ja toiminut siten lähtölaukauksena IoT:n evoluutiolle. (Want 2004).

Jatkuva tietotekniikan komponenttien ja laitteiden kehitys on alentanut laitteiden hintoja, pienentänyt niiden kokoa sekä vähentänyt niiden energiankulutusta. Olemme lähestymässä vaihetta, jossa teknologia on niin edullista, että laitteita voidaan upottaa myös kulutustavaroihin. Puhutaan kertakäyttöisestä teknologiasta. Tämä on mahdollistanut siten myös edistyneempien sensoreiden ja laitteiden valmistamisen, sekä tekniikan nopean yleistymisen. (Khan 2017)

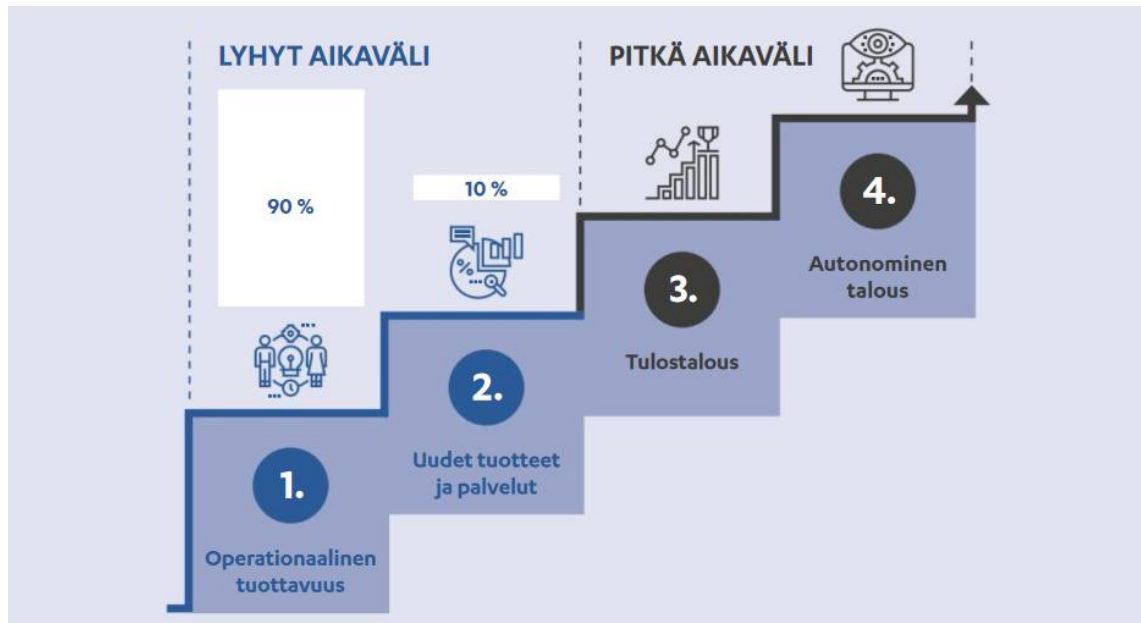
Teknologian muuttuessa edullisemmaksi, tulee IoT-laitteiden määrä kasvamaan räjähdysmäisesti. Tämä puolestaan vaatii verkolta paljon aiempaa enemmän. Internetissä toimiakseen laitteet tarvitsevat yksilöllisen IP-osoitteen, joita on rajallinen määrä. Yksi edesauttava muutos on siirtyminen IP-protokollan uuteen versioon IPv6:een. Aiempi versio IPv4 käyttää 32-bittistä osoitetta, mikä mahdollistaa osoitteen jakamisen noin 4,3 miljardille ($4,3 \cdot 10^9$) laitteelle. IPv6 käyttää 128-bittistä osoitetta, jolloin yksilöllisiä osoitteita voi teoriassa olla yli 340 sekstiljoonaa ($340 \cdot 10^{36}$). Tämä tarkoittaa, että jokaista IPv4 osoitetta kohden voi olla yli 79 000 kvadriljoonaa ($7,9 \cdot 10^{28}$) IPv6 osoitetta. Kansainvälisen ICT-alan tutkimusyhtiön, Gartnerin mukaan yhdistettyjen IoT-laitteiden määrä tulee kasvamaan yli 20 miljardiin vuoteen 2020 mennessä, joten muutos on erittäin hyödyllinen (Gartner 2017).

Sovelluksesta riippuen IoT:n kehitykseen vaikuttaa myös semanttinen web, jonka tarkoituksena on internetissä olevan tiedon yhdistettävyyden parantaminen. W3C:n kehittämien standardien avulla internetin sisältämien tietojen välille on pyritty luomaan asiayhteyksiä, jotka yksinkertaisetkin hakukoneet pystyvät tunnistamaan. Tämä mahdollistaa oleellisten asioiden löytämisen internetin suuresta tietomäärästä aiempaa tehokkaammin. (Shadbolt *et al.* 2006)

3.2 Nykyinen kehitysvaihe kiinteistö- ja rakennusallalla

IoT kiinnostaa myös kiinteistö- ja rakennusalan toimijoita. Kiinteistön hallintaan liittyvien prosessien automatisointi sekä toimintojen ja päätöksenteon tueksi kerätty data ovat potentiaalisia keinoja parantaa kiinteistöjen toimivuutta ja houkuttelevuutta (JLL 2016). Myös monet Smart Campus-ympäristöissä esitetyt sovellukset hyödyntävät IoT:n toimintaperiaatteita; sensoridataa ja laajamittaista datan analysointia.

World Economic Forum (2015) suorittama tutkimus jakaa IoT:n käyttöönoton liiketoiminnassa neljään vaiheeseen. Tällä hetkellä on käynnissä lyhyen aikavälin muutos, joka kattaa näistä vaiheista kaksi ensimmäistä: operationaalinen tuottavuus sekä uudet tuotteet ja palvelut. Kokonaisvaltainen alan muutos tapahtuu kuitenkin vasta pitkällä aikavälillä, eli kahden jälkimmäisen vaiheen - tulostalouden ja autonomisen talouden kehittymisen aikana (Kuva 5).



Kuva 5. IoT-kehityspolku (Granlund 2017).

IoT:n kehityspolun ensimmäisessä askeleessa, operationaalisessa tuottavuudessa IoT:llä saavutetut hyödyt pitävät sisällään olemassa olevien varojen hyödyntämisen, operationaalisten kulujen vähentämisen sekä toimintojen tehostamisen. Tässä vaiheessa ei vielä luoda uutta asiakasarvoa tai liiketoimintaa, vaan tarkoitus on pelkästään tehostaa olemassa olevia prosesseja. (Granlund 2017).

Toisessa vaiheessa kehitys on edennyt olemassa olevien toimintojen optimoinnista kokonaan uusien tuotteiden ja palveluiden tarjoamiseen. Tähän vaiheeseen sisältyvät muun muassa käyttöpohjainen hinnoittelu, SaaS-palveluiden tarjoaminen sekä tiedon kaupallistaminen. Nämä kahden ensimmäisen askeleen hyödyt on mahdollista saavuttaa jo pienellä panostuksella ja nopealla aikataululla. IoT:n suuremmat vaikutukset syntyvät kuitenkin pitkällä aikavälillä, vakiintuneiden talouden ja liiketoiminnan rakenteiden muuttuessa.

Liiketoiminnan rakenteiden muutos alkaa IoT-kehitysvaiheen kolmannessa portaassa. Kolmannessa vaiheessa siirrytään tulospohjaiseen hinnoitteluun, luodaan uusia verkostuneita ekosysteemejä sekä otetaan käyttöön alustat markkinapaikkoina. Kolmas porras on jo askel kohti autonomisempaa taloutta, missä entistä suurempi osa prosesseista on kytetty toisiinsa.

Neljännessä vaiheessa siirrytään kokonaisvaltaiseen IoT:n hyödyntämiseen eli autonomiseen talouteen, mikä näkyy reaaliaikaisena tarpeiden tunnistamisena, koneiden välisenä tietoliikenteenä, resurssioptimointina sekä hukan minimointina. Nämä paitsi vähentävät ihmisten tarvetta puuttua prosesseihin, myös tehostavat liiketoimintaketjuja ottamalla enemmän asioita huomioon.

Granlundin tekemän selvityksen mukaan Suomen kiinteistö- ja rakennusalan palveluista 90% on kehityksen ensimmäisessä vaiheessa ja loput 10% toisessa vaiheessa. Nykyisillä sovelluksilla ei vielä pyritä luomaan uutta asiakasarvoa tai liiketoimintaa, mutta kolmas vaihe ja uudet liiketoimintamallit nähdään alalla seuraavana askeleena. Merkittävää IoT:n kehityksessä on myös se, että vaikka organisaatio ei itse ajaisi IoT:n käyttöönottoa omassa toiminnassaan, tulee se liiketoiminnan rakenteiden muuttuessa vääjäämättä vaikuttamaan koko toimialaan. (World Economic Forum 2015), (Granlund 2017).

IoT tulee kiinteistöalan toimijoiden mukaan vaikuttamaan alan kehitykseen lähitulevaisuudessa myös maailmanlaajuisesti, mikä voidaan nähdä esimerkiksi Schneider Electricin (2016b) tekemistä tutkimuksista. Yhden tutkimuksen mukaan yli puolet yhdysvaltalaisista toimitilajohtajista uskoo IoT:n vaikuttavan rakennus- ja huoltotoimien menettelytapoihin lähitulevaisuudessa. Toinen, maailmanlaajuinen tutkimus taas osoittaa 70% yritysten johtajista uskovan IoT:n potentiaaliin liiketoiminnan kehittämisessä (Schneider Electric 2016a).

Esimerkkinä kiinteistöjen digitalisaatiosta voidaan esittää Amsterdamissa sijaitseva De-loitten toimistorakennus, The Edge. Kiinteistössä on yli 28 000 sensoria, joilla seurataan muun muassa käyttäjien liikkeitä, valaistustasoa, kosteutta ja lämpötilaa. Kiinteistön käyttäjien apuna on mobiilisovellus, joka muun muassa auttaa löytämään vapaan parkkipaikan tai työpisteen, sekä navigoimaan talon sisällä tai mukauttamaan tilan lämpötilaa ja valaistusta. (Granlund 2017), (BREEAM 2016).

4. IOT-ARKKITEHTUURI

IoT-arkkitehtuurilla tarkoitetaan eri IoT-komponenteista rakennettua järjestelmäkokonaisuutta. Esineiden internetille ei ole olemassa yleisesti hyväksyttyä arkkitehtuurirakennetta, vaan kirjallisuudessa esiintyy lukemattomia erilaisia IoT-arkkitehtuurimalleja (Sethi & Sarangi 2017), (Krco *et al.* 2014). IoT-järjestelmistä voidaan kuitenkin tunnistaa tiettyjä elementtejä, jotka vaaditaan kokonaisuuden muodostamiseksi. IoT:n elementteihin voivat kuulua esimerkiksi laitteiden tunnistaminen, ympäristöä tarkkailevat sensorit, laitteiden välinen tiedonsiirto, datan laskenta ja analysointi, käytännön sovellukset, sekä asiayhteyksiä käsittelevä semantiikka. Näitä elementtejä on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 6. IoT-elementit (Al-Fuqaha et al. 2015).

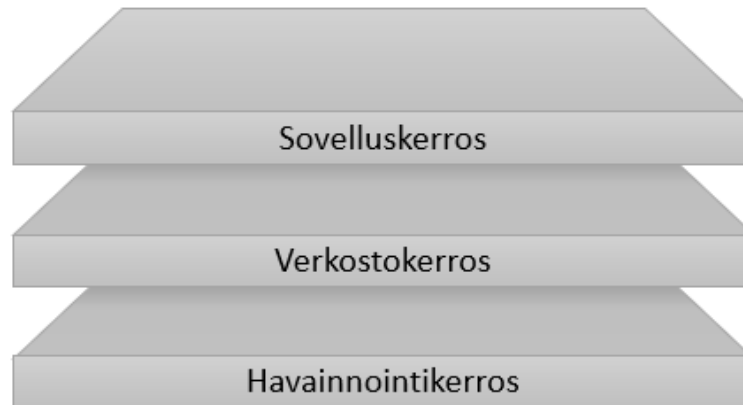
Kuvan 6 esittämä abstrakti IoT-järjestelmä voidaan käytännössä toteuttaa lukemattomilla eri tavoilla, hyödyntäen lukemattomia erilaisia teknologioita ja menetelmiä. Arkkitehtuurin yhtenäistäminen on kuitenkin tärkeää ratkaisujen yhteensovittamiseksi ja sovellusten välisen kommunikaation ja tästä syntyvien synergiaetujen mahdollistamiseksi. Selkeästi määritetty arkkitehtuuri tarjoaa myös perusedellytykset ja rakennusalan uusien IoT-sovellusten kehittämiselle (Krco *et al.* 2014).

Monien eri arkkitehtuurimallien heterogeenisyydestä johtuvien ongelmien ratkaisemiseksi on organisoitu useita laajoja yhtenäisen IoT-arkkitehtuurin kehitysprojekteja. Esimerkkinä Euroopan Unionin IoT-A -projekti, jonka tarkoituksena oli luoda mahdollisimman kattava pohja IoT-arkkitehtuurien rakentamiselle. IoT-A keskittyi ongelman käsittelemiseen laaja-alaisesti, keskittymättä liikaa yksityiskohtiin. Varsinaisen tarkasti määritellyn arkkitehtuurin rakentamisen sijasta, projektissa keskityttiin termien ja rajapintojen määrittelemiseen, sekä yleispiirteisen moduulirakenteen luomiseen. Nämä toimivat edellytyksinä yksityiskohtaisen käytännön IoT-arkkitehtuurin kehittämiselle, varmistuen kuitenkin eri kehittäjien järjestelmien yhteen toimivuuden. (Krco *et al.* 2014).

Tässä kappaleessa esitetään yleiskatsaus IoT-arkkitehtuurin osista ja eri teknologioista. IoT-arkkitehtuureista on julkaistu paljon tieteellistä kirjallisuutta, eikä tässä työssä ole tarkoitus kattaa koko IoT-arkkitehtuurimaailmaa yksityiskohtaisesti. Tämän kappale keskittyykin kiinteistöpalvelujen kehittämisen kannalta oleellisiin teknologioihin ja niiden yleispiirteiseen kuvaamiseen.

4.1 Rakenne ja kerrokset

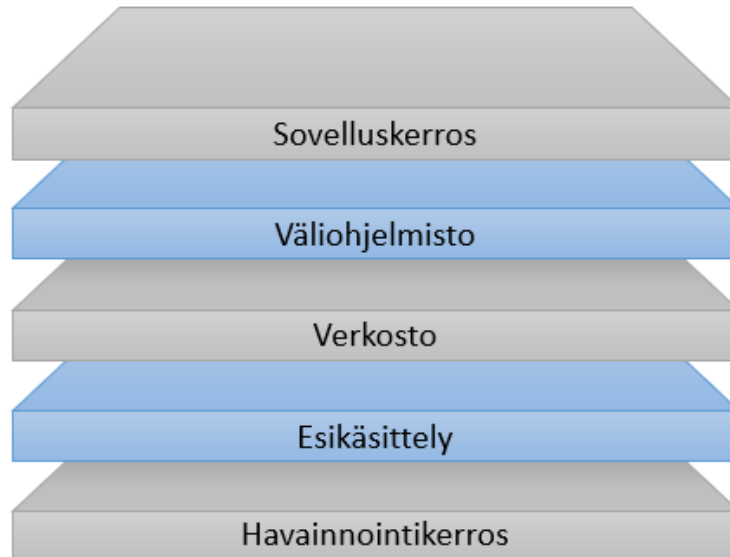
IoT-arkkitehtuurin voi lajitella monilla eri tavoilla. Eri tahojen esittämien mallien taustalla on kuitenkin pääsääntöisesti sama peruskonsepti, joka voidaan yksinkertaisimmillaan ajatella koostuvan kolmesta keskeisestä komponentista: Laitteet (havainnointi), verkosto ja sovellukset. Nämä kolme komponenttia muodostavat niin kutsutun 3-kerroksisen IoT-rakenteen, joka on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 7).



Kuva 7. 3-kerroksinen IoT-rakenne.

Havainnointikerros muodostuu laitteista, jotka hankkivat tietoa ympäristöstä sensoreiden avulla. Tähän kuuluvat myös toimilaitteet, joilla ympäristöön voidaan joissain tilanteissa havaintojen pohjalta tehdä muutoksia ympäristöön. Verkostokerros yhdistää sensorit, verkkolaitteet sekä palvelimet. Sen tehtävä on välittää ja prosessoida dataa näiden välillä. Sovelluskerros puolestaan sisältää käyttäjän käytössä olevat erilaiset IoT sovellukset ja palvelut.

Tässä työssä käytetään kuitenkin hieman tarkempaa, 5-kerroksista jaottelua. Tämän jaottelun esittivät Sethi ja Sarangi ja se koostuu seuraavista komponenteista: Sensorit ja toimilaitteet, esikäsitteily, verkosto, väliohjelmisto ja sovellukset (katso Kuva 8). (Sethi & Sarangi, 2017).



Kuva 8. 5-kerroksinen IoT-rakenne.

Käytännössä tämän mallin ero 3-kerroksiseen konseptiin ovat erilliset lisäkerrokset väliohjelmistolle ja esikäsittelylle, jotka toimivat linkkeinä peruskonseptin kerrosten välillä.

Seuraavaksi käydään lyhyt katsaus IoT-arkkitehtuuriin liittyvistä menetelmistä ja protokollista edellä esitetyn kerrosrakenteen mukaisesti. Sovellukset ja palvelut käsitellään erikseen luvussa 5.

4.1.1 Havainnointikerros: Sensorit ja toimilaitteet

Havainnointikerros koostuu käytännön esineistä, sensoreista ja toimilaitteista. Erilaisia sensoreita, antureita ja mittalaitteita on lukematon määrä. Esimerkiksi uusimmista mobiilipuhelimista voi löytyä jopa kymmenkunta erilaista fyysisen ympäristön ominaisuuksia mittaavaa anturia. Seuraavaksi käsitellään joitain sensoreita, jotka ovat oleellisia kiinteistöjen ja niihin liittyvien sovellusten kannalta.

Monet kiinteistön sensoreista keskittyvät tilojen olosuhteiden mittaamiseen. Tiloista voidaan mitata esimerkiksi lämpötilaa, ilmankosteutta, ilmanlaatua, ilmanpainetta sekä valoisuuden määrää. Ilman laadun mittaamisessa voidaan hyödyntää hiilidioksiditason, haittuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) tai muiden kemiallisten yhdisteiden havainnointia. Tilojen seurantaan voidaan lukea myös kameroiden ja mikrofoniin käyttäminen, sillä niitä voidaan analytiikkaa hyödyntämällä käyttää myös ympäristöä havaitsevinä sensoreina.

Toinen mittauskohde on erilaisten laitteiden toiminnan seuraaminen. Laitteesta riippuen, dataa voidaan kerätä esimerkiksi energian kulutuksesta, lämpötilasta tai muusta laitteen toiminnalle olennaisesta ominaisuudesta, kuten moottorin käyntinopeus, taajuus tai paine.

Kolmas erillinen mittauskohde on sijainti. Laitteen sijainti voidaan määrittää esimerkiksi satelliittipaikannuksen avulla, magneettikentän perusteella tai hyvin suhteellisesti, etäisyysmittarilla. Lisäksi sensori- ja toimilaitteiksi voidaan laskea myös radiotaajuinen etätunnistusmenetelmä RFID, sen tunnistet ja lukulaitteet.

Sensoreiden lisäksi IoT-järjestelmään kuuluvat monenlaiset toimilaitteet, jotka mahdollistavat erilaisten toimenpiteiden tekemisen ympäristöstä saadun datan perusteella. Esimerkkejä kiinteistössä toimivista toimilaitteista ovat lämmitys- tai viilennyslaitteet, kaiuttimet, näytöt tai moottorit. (Sethi & Sarangi 2017).

Sensorit voivat olla joko langattomia tai langallisia. Langattomien sensoreiden etuina ovat asennuksen helppous ja edullisuus langallisiin laitteisiin verrattuna. Langattomuus mahdollistaa myös sensoreiden lisäämisen vapaammin eri puolille kiinteistöä sekä järjestelmän vaivattomamman laajentamisen. Langattomuus tuo kuitenkin mukanaan ongelman energianlähteistä ja energian riittävyydestä. Toiminnallisesti kevyimpien sensoreiden toiminta ilman jatkuvaa verkkovirtayhteyttä voidaan varmistaa erilaisilla energiankeruumenetelmillä. Tiedonsiirrossa on kuitenkin syytä käyttää mahdollisimman vähän energiaa kuluttavia teknologioita (Reinisch *et al.* 2007)

4.1.2 Esikäsittely: Sumulaskenta

Pilvilaskennassa datan prosessointi ja varastointi tapahtuvat keskitetyissä palvelinkeskuksissa, joita käyttäjä voi omalla päätelaitteellaan hyödyntää verkkoyhteyden avulla paikasta riippumatta. Esineiden internetin yhteydessä pilvi asettuu laitteiden verkoston ja sovellusten väliin. Pilvilaskennassa on kuitenkin ongelmansa. Esimerkiksi vasteajat voivat palvelinkeskuksen sijainnista riippuen kasvaa jopa satoihin millisekun teihin, mikä voi koitua ongelmaksi, mikäli halutaan hyödyntää reaaliaikaista dataa. Tämä vaikuttaa myös skaalautuvuuteen, sillä laitteiden määrän lisääntyessä, latenssi pitenee entisestään. Pilvilaskennan käyttöä rajoittaa myös datan lähettämiseen tarvittava energia. Myös turvallisuus voidaan katsoa vaarantuneeksi, sillä datan säilöminen mahdollisesti toisen valtion alueella sijaitseviin palvelimiin ei välttämättä ole turvattua. (Sethi & Sarangi 2017)

Edellä mainittuja ongelmia voidaan ratkaista datan esikäsittelyllä. Käytännössä tämä tarkoittaa niin kutsutun sumulaskennan hyödyntämistä. Sumulaskenta on kuin pilvi lähellä maanpintaa. Siinä missä pilvilaskennassa prosessointi on hajautettu usein kaukaisiin palvelinkeskuksiin, sumulaskennassa osan tehtävästä hoitavat havaittavan ympäristön läheisyydessä sijaitsevat laitteet. Tässä mallissa dataa esikäsitellään ja analysoidaan ennen sen lähettämistä pilvikeskukseen. Esikäsittely voi tapahtua esimerkiksi itse sensorilaitteissa tai niin kutsutuissa älykkäissä yhdyskäytävissä. Älykkäitä yhdyskäytäviä käyttämällä voidaan pienentää viivettä, hallita suurta määrää laitteita sekä paremmin kontrolloida pilveen lähetettävää dataa. (Sethi & Sarangi 2017)

4.1.3 Verkostokerros

Lukuisien sensorilaitteiden yhdistäminen langattomasti luo rajoitteita verkoston sisäiseen kommunikointiin. Laitteiden suuri määrä luo kysymyksen jokaisen sensorin yksilöllisestä tunnistamisesta. Lisäksi monet IoT-laitteet ovat akku- tai paristokäyttöisiä, joten tiedonvälityksen tulisi viedä mahdollisimman vähän virtaan, mutta toimia kuitenkin mahdollisimman nopeasti ja tehokkaasti. Nämä seikat huomioiden, on olemassa useita erilaisia menetelmiä ja protokollia tiedon välittämiseen laitteiden välillä.

IoT-järjestelmät kytkeytyvät internetiin tyypillisesti internet-protokollien (TCP/IP) avulla. Tämä on kuitenkin varsin monimutkainen ja raskas järjestelmä, joka vaatii laitteilta paljon virtaa ja muistia. Laitteet voivat kuitenkin liittyä toisiinsa paikallisesti kevyempien tiedonsiirtomenetelmien avulla ja yhdistyä internetiin älykkäiden yhdyskäytävien kautta.

Lukuisien laaja-alaisella alueella sijaitsevien laitteiden yhdistämiseksi voidaan käyttää niin kutsuttua langatonta sensoriverkkoa (WSN). WSN koostuu lukuisista solmuista, jotka kommunikoivat keskenään langattomasti. Kyseiset solmut ovat teknisesti rajoittuneita laitteita, mutta osa solmuista, niin kutsutut yhdyskäytäväsolmut ovat tarpeeksi tehokkaita lähettämään datan eteenpäin palvelimille.

IP-protokollien ulkopuoliset, kevyet tiedonsiirtostandardit, kuten NFC, RFID ja Bluetooth eivät vaadi laitteilta niin paljoa kuin IP, mutta niiden kantama rajoittuu varsin lyhyille etäisyyksille. Rajoittuneiden IoT-laitteiden yhdistämiseksi internetiin on kehitetty myös muokattuja versioita TCP/IP-protokollista, jotka toimivat matalalla energiankulutuksella ja mahdollistavat laajamittaisemman laitteiden verkoston. Näihin teknologioihin kuuluvat esimerkiksi 6LoWPAN, CoAP, LWM2M ja MQTT.

Muut langattomat tiedonsiirtoprotokollat jakautuvat yksinkertaistetusti lyhyiden etäisyyksien tiedonvälitykseen sekä pitkän kantaman tiedonvälitykseen soveltuviin teknologioihin. Lyhyiden etäisyyksien matalan energian tiedonvälitykseen kehitettyjä teknologioita ovat muun muassa matalan tehon WiFi (WiFi HaLow), matalan tehon Bluetooth (BLE) sekä ZigBee. Matalan tehon laaja-alaisia verkkoja (Low Power Wide Area Network) ovat esimerkiksi Narrow Band IoT, Sigfox, Weightless ja LoRaWAN.

4.1.4 Väliohjelmisto

Lukuisten erilaisten sensorijärjestelmien yhdistäminen on vaikeaa paitsi yhteisten yleisesti hyväksyttyjen käytäntöjen puuttuessa, myös eri sovellusten erilaisten vaatimusten vuoksi. Järjestelmien yhdistämiseksi onkin suositeltavaa käyttää väliohjelmistoa, joka peittää sensorijärjestelmien yksityiskohdat taakseen ja auttaa ohjelmistokehittäjiä keskittymään dataa käyttäviin sovelluksiin. Väliohjelmisto tarjoaa siis ohjelmointirajapinnan (API) sensoridatajärjestelmien ja sovellusten välille. Tämä rajapinta ottaa huomioon

kommunikoinnin, datanhallinnan sekä tietojen tietoturva- ja yksityisyyskysymykset. Väliohjelmiston tehtävät on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 1. Väliohjelmiston tehtäväalueet (Sethi & Sarangi 2017).

Yhteentoimivuus	Väliohjelmisto luo linkin sensoriverkon ja sovellusten välille. Sen tehtävä on muotoilla ja jäsentää sensoridata sovelluksella luettavaan muotoon sekä mahdollistaa erilaisten toimintojen lisääminen ja käyttäminen.
Laitteiden havaitseminen ja hallinta	Väliohjelmisto vastaa sensoriverkon tunnistamisesta sekä laitteiden havaitsemisesta ja hallinnasta. Sen tehtävä on ilmoittaa laitteissa esiintyvistä vioista.
Skaalautuvuus	Väliohjelmisto auttaa sensoriverkon skaalautuvuudessa piilottamalla laitteiden yksityiskohdat ja tekemällä massiivisen sensorimäärän hallitsemisesta helpompaa. Se myös huolehtii resurssien seuraamisesta ja jakamisesta laitteiden välillä.
Big data ja data-analytiikka	Väliohjelmisto huolehtii sensoriverkoston tuottaman datan keräämisestä, prosessoinnista ja hallinnasta.
Tietoturva ja yksityisyys	Väliohjelmisto huolehtii kerätyn datan tietoturva- ja yksityisyyskysymyksistä. Sen tehtävä on suojata verkoston keräämän yksilön tai yrityksen kannalta arkaluontoinen data, sekä pitää huolta, että dataan pääsevät käsiksi vain valtuutetut tahot.
Pilvipalvelut	Väliohjelmisto toimii yhteydessä pilvikeskusten kanssa, missä suuri osa datan käsittelystä yleisesti tapahtuu.
Sisällön tunnistaminen	Väliohjelmiston on pystyttävä tunnistamaan varsinainen sisältö sensoridatan perusteella. Toisin sanoen se poimii datan seasta sovellusten kannalta hyödylliset osat ja tekee todelliseen maailmaan liittyviä huomioita.

Joitain edellä mainittuihin ongelmiin kehitettyjä ratkaisuja on jo olemassa. Esimerkiksi EU:n ajama FI-WARE, jonka tarkoituksena on tarjota pohja edullisille tulevaisuuden internetin palveluille. Se sisältää ohjelmistokoodia, monikäyttöisiä moduuleja sekä monien osapuolten tuottamia ohjelmointirajapintoja, joista käyttäjät voivat rakentaa oman ohjelmistonsa. Muita ratkaisuja ovat muun muassa OpenIoT, Oracle Fusion Middleware, Middlewhere sekä HYDRA. (Sethi & Sarangi 2017).

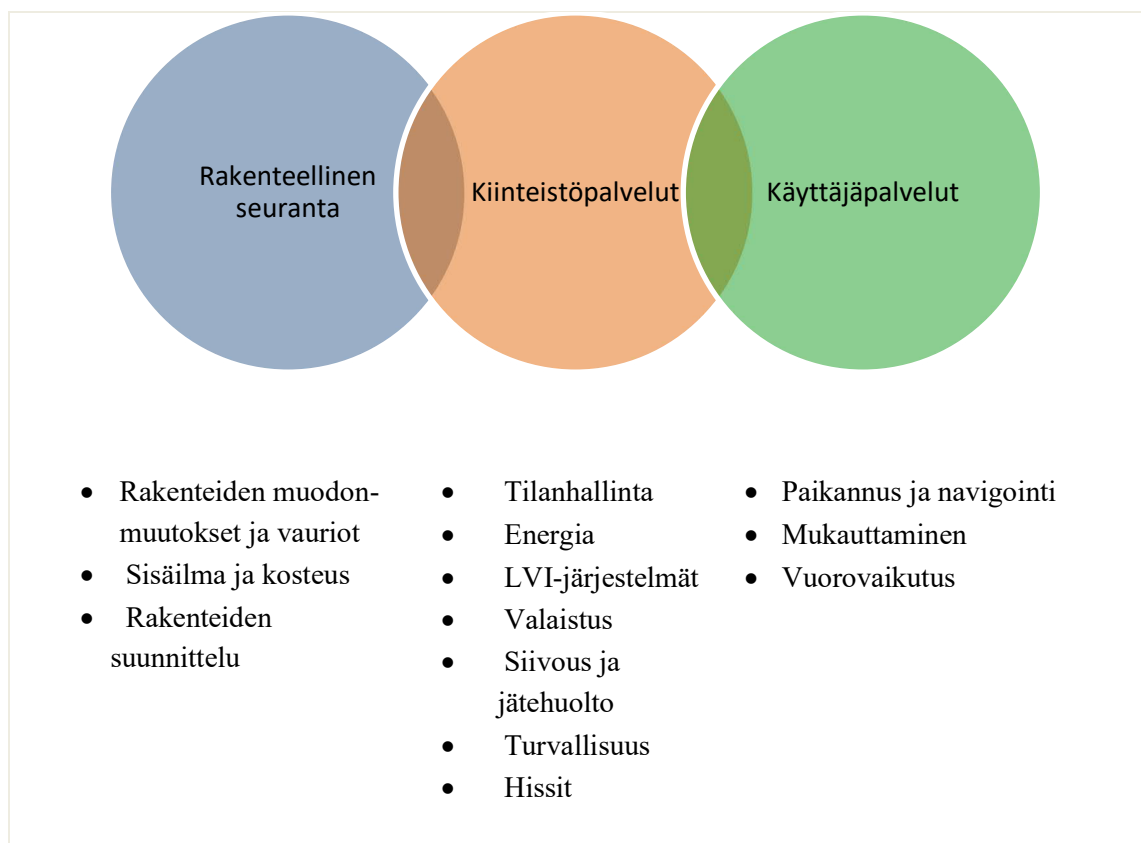
4.2 Kiinteistöjen järjestelmät

Kiinteistön sisäisillä järjestelmillä on tyypillisesti omia tiedonsiirtostandardeja, joihin kuuluvat esimerkiksi valaistukseen suunniteltu DALI- standardi, sekä rakennusautomaatioon suunnitellut protokollat: BACnet, KNX ja LonWorks (Merz *et al.* 2009).

Digitaaliset kiinteistöpalvelut voidaan rakentaa rakennusautomaatiojärjestelmien muodostamalle pohjalle, jolloin koko arkkitehtuuria ei tarvitse rakentaa alusta alkaen. Kokonaisuutta voidaan täydentää integroimalla muita laitteita olemassa olevaan infrastruktuuriin ja yhdistämällä eri järjestelmiä. Tällöin IoT-arkkitehtuurin ja eri tiedonsiirtomenetelmien vahvuuksien ja heikkouksien tunteminen auttaa tehokkaan ja monipuolisen palvelun suunnittelemisessa.

5. SOVELLUKSET JA PALVELUT

Tässä luvussa käsitellään sensoritekniikan ja IoT:n mahdollistamia käytännön sovelluksia kiinteistöjen ja etenkin yliopistokampusten näkökulmasta. Sovellukset on jaettu kolmeen kategoriaan: rakenteellinen seuranta, kiinteistöpalvelut sekä käyttäjäpalvelut. Rakenteellinen seuranta kattaa rakennuksen rakenteisiin liittyvät seurantamenetelmät. Kiinteistöpalvelut puolestaan kattavat kiinteistön fyysisen ominaisuuksiin ja laitteiden hallinnan ja niihin liittyvät sovellukset. Käyttäjäpalvelut ovat suoraan kiinteistön asiakaskäyttäjien tarpeisiin luotuja palveluita. (Kuva 9).



Kuva 9. Digitaalisen kiinteistön sovelluksia.

Sovelluskategorioissa on joitain toisiinsa kytkettyjä ominaisuuksia, joten kategoriat on esitetty yllä olevassa kuvassa osittain päällekkäisinä. Esimerkiksi sisäilman mittaaminen liittyy olennaisesti rakenteellisen seurannan lisäksi ilmanvaihtojärjestelmiin ja sitä kautta myös kiinteistöpalveluihin. Lisäksi esimerkiksi tilanhallinnan ja erityisesti tilojen varaamisen voidaan katsoa kuuluvan myös käyttäjäpalveluihin.

5.1 Rakenteellinen seuranta

Tässä osiossa esitetyt sovellukset liittyvät rakennuksen rakenteiden ominaisuuksien mittaamiseen ja niistä saatuihin hyötyihin. Rakenteiden ominaisuuksien seuranta on nykyteknologialla mahdollista, mutta laajamittaisen seurantajärjestelmän suunnitteleminen ja sisällyttäminen rakennusprosessiin on hyvin kallista, eikä rakenteiden kunnon jatkuva pitkäaikainen seuranta ole erityisen käytännöllistä, kun kyseessä on pitkäikäiset, vuosikymmeniä kestävät rakennukset ja lyhytikäinen, vuosittain kehittyvä teknologia. Teknologian kehittyessä ja laitteiden tullessa entistä edullisemmiksi, tulee rakenteellisen seurannan yleistymisestäkin mahdollisempaa.

Rakenteiden muodonmuutoksia ja mahdollisia vaurioita on mitattu sensoreilla jo pitkään. Rakenteellisen kunnon mittaukset ovat kuitenkin keskittyneet suuren mittakaavan infrastruktuuriin, kuten siltoihin ja patoihin, sekä erityisesti vaativimpiin ympäristöolosuhteisiin, kuten esimerkiksi maanjäristysalueille tai poikkeuksellisen korkeiden rakennusten tuuliolosuhteisiin (Brownjohn 2006). IoT:n kehityksen myötä seuranta voidaan mahdollisesti sisällyttää laajemmin myös tavallisiin toimisto- ja asuinrakennuksiin sekä myös yliopistokiinteistöihin. Esimerkiksi rakenteiden värinän ja muodonmuutosten voisi sisällyttää älykkään rakennuksen tarkasteltaviin ominaisuuksiin ilmanvaihdon, energiankulutuksen ja lämpötilan rinnalle (Alghamdi & Shetty 2016).

Rakenteista voidaan mitata esimerkiksi lämpötilaa ja kosteutta, mistä on tehty useita tutkimuksia (Hung *et al.* 2012; Dietsch *et al.* 2015). Seuranta on tutkimusten mukaan mahdollista toteuttaa myös langattomasti, mutta menetelmä vaatii vielä kehittelyä (Barroca *et al.* 2013).

Rakennusten sisäilmaongelmat ja kosteusvauriot ovat aiheuttaneet alalla merkittävästi ongelmia. Sisäilmassa olevien haitallisten epäpuhtauksien, kuten allergeenien, pienhiukkasten tai haitallisten hajujen tunnistaminen on askel puhtaamman sisäilman saavuttamiseksi ja sisäilmasta johtuvien ongelmien vähentämiseksi. Rakennneosien kosteutta mitataan usein vasta kun ongelmia on ilmennyt. Tällöin rakennukselle tilataan erillinen kuntotutkimus, jossa selvitetään rakennusosien kunto ja mahdolliset vauriot, kosteus mukaan lukien. Kosteudenhallinta on myös tärkeä rakentamisen aikana, jolloin rakenteet ovat eniten alttiina ympäristön vaikutuksille. Riskialttiiden rakennneosien kosteuden mittaaminen rakennusvaiheessa sekä käytön aikana auttaisi varmistamaan rakennuksen toimivuuden ja varautumaan mahdollisiin muutoksiin. (Pitkäranta 2016).

Rakenteiden suunnittelu perustuu pitkälti paitsi fyysisiin ominaisuuksiin, lujuuslaskentaan ja statiikkaan, myös kokeellisiin menetelmin saatuihin vertaustietoihin, sekä tilastollisiin seikkoihin. Rakenteen kestävyys varmistaminen tapahtuu usein verrattain korkeiden turvakertoimien käyttöön, millä kompensoidaan todellisen maailman epävarmuustekijöitä. Korkeiden turvakertoimien käyttö ja ylimerkitseminen vähentävät riskejä, mutta tuovat usein myös lisää kustannuksia. Sensoritekniikan avulla rakenteiden suunnitteluun

liittyviä epävarmuustekijöitä voidaan pitkällä aikavälillä oppia hallitsemaan paremmin, jolloin rakennusten suunnittelua pystytään optimoimaan ilman riskien kasvamista liian suuriksi. Tällöin myös rakennusten kustannukset pienenevät merkittävästi. (Mufti *et al.* 2005).

5.2 Kiinteistöpalvelut

Kiinteistöpalveluihin liittyvät IoT-ratkaisut voivat olla osa kiinteistön hallintajärjestelmää (BMS), eli kokonaisuutta, joka kattaa kiinteistön sisäiset mekaaniset ja elektroniset järjestelmät, tai toimia sen kanssa yhteistyössä. Vaikka osaa kiinteistön järjestelmistä voidaan hallita automaattisesti nykyaikaisen rakennusautomaation avulla, rajoittuvat toiminnot yleensä ennalta määritettyihin yksinkertaisiin sääntöihin. IoT tekee rakennusautomaatiosta entistä älykkäämpää pilvilaskennan ja datan analysoinnin avulla. Jatkossa kiinteistön tapahtumiin voidaan reagoida jo ennakoon. Lisäksi sen avulla voidaan ottaa myös käyttäjien mieltymykset huomioon. (Walden 2016), (Weng & Agarwal 2012).

Esimerkiksi huoltotoimenpiteet voidaan optimoida paremmin seurantadataa hyödyntämällä. Rutiininomaisista huoltotoimista voidaan siirtyä enemmän tarveperusteisiin toimenpiteisiin, mikä paitsi vähentää turhien huoltokertojen määrää, myös varmistaa sen, ettei huoltoväli kasva liian pitkäksi (JLL 2016).

Eurooppalaisilla yliopistoilla on usein suuri määrä ikääntyviä kiinteistöjä ja tarve investoida uusiin tiloihin joko saneerauksen tai uudisrakentamisen kautta. Yliopistojen rakenne ja tilojen käyttö ovat muutoksessa ja tilojen täytyy uudistua. Tilanhallinnassa IoT-ratkaisut voivat olla hyödyllisiä konkreettisen ja luotettavan tiedon keräämiseen. Monesti kiinteistöissä, joissa on varattavia tiloja, törmätään ongelmaan, missä tila on varattu, mutta sitä ei käytetä (Valks *et al.* 2016). Tilojen käyttöä seuraamalla varatut huoneet voidaan vapauttaa käyttöön, tietyn ajan kuluttua varauksen alkamisesta, mikäli tilassa ei ole ketään. Reaaliaikaisen tilanteen esittäminen mahdollistaa myös vapaan tilan löytämisen nopeasti ilman, että jokainen tila täytyisi yksitellen tarkistaa.

Energia on yksi merkittävimmistä kiinteistöjen IoT-sovellusten kohteista. Rakennusten lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät toimivat usein ennalta määrätyn aikataulun mukaisesti, toimien tehokkaasti tietyn osan päivästä ja siirtyen yöksi säästötoimintoon. Tämä ennalta määrätty aikataulu ei kuitenkaan aina vastaa rakennuksen varsinaista käyttöä, mikä johtaa lopulta energian hukkaamiseen. Sama pätee myös esimerkiksi valaistukseen ja tietokoneisiin. (Weng & Agarwal 2012). Järjestelmät voidaan kuitenkin kehittää vastaamaan paremmin todellisia tarpeita. IoT voi mahdollistaa kokonaisvaltaisen energiankulutuksen optimoinnin keskitetysti. Energiaa kuluttavia laitteita ja kokonaisia järjestelmiä voidaan hallita keskitetyn erityisen energianhallintajärjestelmän avulla. Järjestelmään voidaan sisällyttää lukematon määrä laitteita sekä ulkoisia parametreja, jotka otetaan huomioon laitteiden toimintaa ohjattaessa. Esimerkiksi ilmastoinnin säätämisessä

voidaan hyödyntää tietoja sisä- ja ulkolämpötilasta, tilassa olevien henkilöiden lukumäärästä ja mieltymyksistä, kellonajasta tai sähkön senhetkisestä hinnasta.

Esimerkkinä energianhallintaan liittyvistä sovelluksista on Murcian yliopiston kampuksella suoritettu tutkimus, jossa hyödynnettiin energiankulutuksen seurantaa kolmessa eri rakennuksessa. Energiankulutuksen perusteella tehtiin energianhallintatoimenpiteitä, joihin kuuluivat automaattiset muutokset laitteiden toiminnassa sekä käyttäjälle annetut ohjeet energian säästämiseksi. Kuukauden aikana päivittäinen energian säästö vaihteli 14% ja 30% välillä. (Moreno *et al.* 2014).

Yksi suuri energiankulutukseen vaikuttava konsepti ovat älykkäät sähköverkot. Älykkään sähköverkon etuna verrattaessa perinteiseen sähköverkkoon, on digitaalinen kommunikaatiojärjestelmä, joka mahdollistaa paremman tietoyhteyden sähkön kuluttajan ja tuottajan välillä. Älykäs sähköverkko voi erilaisten sensoreiden, tietokoneohjauksen ja automaation avulla seurata verkossa tapahtuvaa sähkön virtausta sekä ohjata sähkön kulutusta ja tuotantoa tarpeen mukaisesti. (Cetin & O'Neill 2017).

Rakennuksen lämmitys- vesi- ja ilmanvaihtojärjestelmät hyötyvät myös sensoreiden mahdollistamasta energiansäästöstä. Pääroolissa ovat älykkäät termostaatit, jotka kontrolloivat rakennuksen järjestelmiä paitsi vallitsevan lämpötilan, myös esimerkiksi sähkön hinnan tai käyttäjän tottumusten mukaan. Jotkut termostaatit osaavat myös oppia käyttäjän toimista ja ennakoida tulevaa lämmitystarvetta. (Cetin & O'Neill 2017).

Valaistuksen IoT-sovellukset liittyvät valaistuksen automaatioon ja kustomointiin. Valaistus on mahdollista mukauttaa ympäristön valoisuuden tai tilassa olevan käyttäjän henkilökohtaisten mieltymysten mukaan. Valaisimilla voidaan luoda tilaisuuteen sopivaa tunnelmaa valon spektriä, värilämpötilaa sekä intensiteettiä muuttamalla. Kiinteistöille on tarjolla valaistus palveluna (LaaS) -tyyppisiä ratkaisuja, joissa palveluntarjoaja huolehtii valaisimista ja niiden huollosta. Valaisimien kunnon voi tarkistaa etänä jolloin viallisten sekä käyttöiän loppupuolella olevien valaisimien tai polttimoiden vaihtamisen voi suorittaa suunnitellusti ilman vikailmoituksia.

Kiinteistön puhtaanapitoon ja siivoukseen on kehitetty useita IoT-sovelluksia. Yksi suosittu kehitysalue on jäteastoiden käyttöasteen tunnistamiseen ja jäteastoiden täyttymisen ilmoittamiseen suunnitellut ilmoitusjärjestelmät. Käytännössä tämä tarkoittaa, että järjestelmässä oleviin jäteastioihin asennetaan sensorit, jotka havaitsevat, milloin astia on täyttymässä. Tällöin järjestelmä voi lähettää ilmoituksen siivoojalle, joka tyhjentää astian. Useat aiheeseen liittyvistä kirjallisuudessa esiintyvistä kokeiluista ja tutkimuksista liittyvät kaupungin laajuiseen Smart City -ympäristöön, mutta samaa ideaa voidaan hyödyntää myös rakennuksen sisällä. Esimerkiksi Kumar *et al.* (2017) ovat kehittäneet älykkään jäteseurantajärjestelmän Smart City -ympäristöön. Järjestelmä mittaa kaupungin alueella olevien jäteastoiden täyttymistä astian sisälle sijoitettujen ultraäänisensorien avulla ja ilmoittaa tyhjennyksen tarpeesta roska-auton kuljettajalle. Ilmoitukset tapahtuvat WiFi-

moduulin avulla, mistä ne lähetetään android-sovellukseen. Kuljettaja tyhjentää astian ja kuittaa sen RFID-teknologiaan perustuvan järjestelmän avulla. Järjestelmää voidaan käyttää siten paitsi jätemäärän seuraamiseen, myös tyhjennyksen tehokkuuden mittaamiseen. Ultraäänisensorin sijasta ratkaisu voitaisiin kehittää myös infrapunasensoria hyödyntäen (Shukla & Shukla 2017).

Laitteiden ja tilojen seuranta mahdollistaa verkoston hyödyntämisen myös turvallisuuden liittyvissä sovelluksissa, kuten vartioinnissa ja kulunvalvonnassa. Sensoreita voidaan käyttää esimerkiksi arvotavaroiden suojelemiseen ja seurantaan varkaustapauksissa (Pi 2014), (J.Y. *et al.* 2014). Sensoriverkkoa voidaan hyödyntää myös esimerkiksi erilaisten hälytysten tekemisessä ja rakennuksen evakuoinnissa (Gokceli *et al.* 2017).

Tekniikkaa voidaan soveltaa myös hisseihin, liukuportaisiin ja vastaaviin rakennuksen sisäisiin kuljetusjärjestelmiin. Alan yritykset ovat kehittämässä älykkäämpiä järjestelmiä parantaakseen hissien turvallisuutta, tehokkuutta ja niiden huoltoa. Hissien toimintaa ja toiminnan poikkeamia seuraamalla saadaan tietoa niiden hissien käytön määrästä ja mahdollisista teknisistä ongelmista. Ongelmatilanteen sattuessa tai esimerkiksi toiminnassa esiintyvän poikkeaman tarkistamiseksi teknikko voidaan hälyttää paikalle automaattisesti matkapuhelimeen välittyvällä ilmoituksella. Hissin lakatessa toimimasta kun matkustajia on kyydissä, he voivat kommunikoida huollon kanssa hissiin sisäänrakennetun videokeskustelumahdollisuuden välityksellä (Dix 2016). Muissa sovelluksissa on mukana käyttäjän mieltymykset. Käyttäjä voi ladata itselleen mobiilisovelluksen, jonka avulla hän voi kutsua matkalla ollessaan hissien valmiiksi. Mobiililaitteen tunnistessaan hissi osaa myös viedä käyttäjän oikeaan kerrokseen. (Dix 2016).

Bahn esittää toisenlaisen ratkaisun, jolla hissien optimointia voitaisiin parantaa sensoriteknikan avulla. Ehdotettu ratkaisu käyttäisi RFID-tunnisteita, videokuvaa sekä lattiasensoreita käyttäjän liikkeiden ennustamiseen jo ennen hissien kutsumista painikkeella. Kyseisen tutkimuksen mukaan järjestelmästä syntyvät säästöt ovat keskimäärin jopa 30% odotusajassa sekä energiankulutuksessa (Bahn 2016).

5.3 Käyttäjäpalvelut

Käyttäjäpalvelut ovat suoraan kiinteistön asiakaskäyttäjälle suunnattuja IoT-infrastruktuuria hyödyntäviä palveluita. Puhtaat kiinteistöpalvelut eroavat käyttäjäpalveluista siten, että kiinteistöpalvelut ovat enemmän sidottuja fyysiseen rakennukseen, sen ominaisuuksiin ja niistä huolehtimiseen, kuin sen käyttäjiin.

Yksi paljon tutkimusta herättänyt sekä useita kaupallisiakin tuotteita synnyttänyt kiinteistön käyttäjille suunnattu sovellus on sisätiloissa toimiva paikannus- ja navigaatiojärjestelmä. Paikannus voi perustua radioaaltoihin, valoon, ääneen tai magneettikenttiin. Paikannustiedon laskeminen ja analysointi voi tapahtua joko infrastruktuurissa tai suoraan

käyttäjän laitteessa (Brena *et al.* 2017). Navigaatioon ja reitin esittämiseen voidaan käyttää mobiililaitteen karttaa, lisättyä todellisuutta (Subakti & Jiang 2017) tai digitaalisia näyttötauluja.

Tilassa olevan käyttäjän tunnistaminen mahdollistaa räätälöityjen olosuhteiden luomisen. Käyttäjä voi esimerkiksi kertoa omat mieltymyksensä lämpötilan, ilmanvaihdon ja valaistuksen suhteen, jolloin rakennus mukautuu automaattisesti valittuihin toiveisiin. Hie-
man samantyyllisen ratkaisun voi toteuttaa myös yksinkertaisen palautteen avulla. Käyt-
tämä voi vaikuttaa tilan olosuhteisiin antamalla palautetta ilmanvaihdosta, lämpötilasta tai
valaistuksesta, jolloin järjestelmä tekee muutoksia annetun palautteen perusteella.
(Rinaldi *et al.* 2016). Jokaiselle käyttäjälle ei tarvitse antaa oikeutta muuttaa kiinteistön
sisäilmaolosuhteita, mutta palautteen ansiosta jokaisella on mahdollisuus vaikuttaa nii-
hin. Tämä tekee järjestelmästä optimaalisemman ja joustavamman ja tarpeen mukaisen.

Ihmisten ja rakennuksen välinen vuorovaikutus voi toimia myös päinvastaisesti. Moder-
neilla sensorilaitteilla voidaan esimerkiksi seurata henkilön hyvinvointia ja mielentilaa.
Japanissa suoritetussa tutkimuksessa kehitettiin järjestelmä toimistotyöntekijän tervey-
dentilan seuraamiseen, joka toimii mittaamalla työntekijän kasvojen piirteitä, näppäimis-
tön ja hiiren käyttöä, sekä kämmenen hikoilua. Kyseisen järjestelmän on tarkoitus tunnis-
taa työntekijän stressitaso työtä häiritsemättä. (Maeda *et al.* 2016).

6. DIGITAALISEN KIINTEISTÖPALVELUN KÄYTTÖÖNOTTO JA HYÖDYNTÄMINEN

6.1 Palvelumuotoilu ja palvelun kehittäminen

Palvelumuotoilu on varsin tuore tutkimus- ja osaamisala, jolle on useita määritelmiä näkökulmasta riippuen. Lähtökohtaisesti palvelumuotoilulla tarkoitetaan kuitenkin erilaisen palveluiden innovointia, suunnittelua ja toteutusta muotoilualan keinoin. Palvelumuotoilussa käyttäjä on suunnittelun keskipisteessä, ja palvelua pyritään muotoilemaan käyttäjän näkökulmasta.

Palvelua kehittävät organisaatiot keskittyvät usein liikaa yksittäisen sovelluksen toimintojen kehittämiseen, huomioimatta tarpeeksi palveluun liittyviä hallinnollisia ja toiminnallisia vaatimuksia sekä käyttäjän tarpeita. Tämä voi johtaa ongelmiin palvelun käyttöönotossa ja tehdä lopulta koko palvelusta hyödyttömän. (Service design 2011)

Palvelun tai prosessin kehittämisessä on tärkeää käyttää jäsenneltyä menetelmää projektin hallitsemiseksi. Jäsennelty menetelmä voidaan katsoa koostuvan viidestä vaiheesta. Ensimmäinen vaihe on vision määrittäminen, jossa asetetaan yleinen liiketoimintastrategia. Toinen vaihe on nykyisen tilanteen arvioiminen, jossa selvitetään nykyhetken vahvuudet ja heikkoudet jatkotoimia varten. Kolmas vaihe on selkeiden mitattavien tavoitteiden asettaminen edellä määritetyn vision pohjalta. Neljäs vaihe on tavoitteisiin tähtäävien menetelmien ja kehityskohtien yksityiskohtainen suunnittelu ja toteutus. Viides vaihe on lopullisten suoritusten arviointi ja mittaaminen. Näiden vaiheiden jälkeen palataan uudestaan ensimmäiseen vaiheeseen, jolloin päästään jatkuvaan kehityksen kierteseen. Palvelun kehittämisessä onkin kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, miten jatkuvaa kehitystä saadaan ylläpidettyä. (Service design 2011)

6.2 Esineiden internetin hyödyntäminen liiketoiminnassa

Esineiden internet on osoittautunut haastavaksi liiketoimintamallien kehityksen kannalta. Aiheeseen liittyvä tutkimustyö, kuten myös monet IoT:n tämänhetkisistä sovelluksista keskittyvät teknologiaan, sen hyödyntämiseen sekä datan keräämiseen ilman selkeää kuvaa siitä, miten sovellus tulee lopulta edistämään liiketoimintaa (Whitmore *et al.* 2015), (Granlund 2017). IoT:n täysimittainen hyödyntäminen on vaikeaa osittain siksi, että sen perimmäinen idea – kaiken yhdistäminen – sekoittaa yritysmailman periaatteita, joissa yritykset pyrkivät pitämään kiinni omista tutkimus- ja kehitystoimiensa tuloksista. Kuitenkin yhä useammin uusia innovaatioita, tuotteita ja palveluja kehitetään usean eri toimijan muodostamissa tiiviissä yhteistyöverkoissa eli ekosysteemeissä (Kaihovaara *et al.* 2017).

6.2.1 Ekosysteemit

IoT:n odotetaan muuttavan yritysten keinoja arvon muodostamiseksi. Samalla tämä muutos luo tarpeen siirtyä nykyisestä teknologiakeskeisyydestä kohti uusien, ekosysteemiajatteluun pohjautuvien liiketoimintamallien kehittämistä. (Westerlund *et al.* 2014) Useat tällä hetkellä saatavilla olevista järjestelmistä keskittyvät yhden yksittäisen ongelman ratkaisuun tai tietyn toiminnon optimointiin. Suurin osa IoT:n potentiaalista on kuitenkin järjestelmien yhdistämisessä ja ristikkäisessä tiedonsiirrossa, mitkä mahdollistavat monipuolisempien ja kokonaisvaltaisempien palveluiden kehittämisen. Tämän saavuttamiseksi on hahmotettava yksittäistä teknistä ratkaisua suurempi kokonaiskuva ja rakennettava yritysten välisiä yhteistyörakenteita ja ekosysteemejä. (Granlund 2017).

Alustat, teknologiat, prosessit ja standardit luovat ekosysteemin ytimen. Ekosysteemin jäsenet luovat yhdessä ekosysteemin liiketoimintamallin. Ekosysteemin jäseniin voivat kuulua yritykset, julkiset laitokset sekä yksittäiset henkilöt. Yritykset voivat hyötyä ekosysteemeistä esimerkiksi uusien markkinoiden syntymisen, markkinoiden kasvamisen, markkinoille pääsemisen, tai muiden liiketoimintamahdollisuuksien kautta. (Leminen *et al.* 2012) Liiketoiminnallinen ekosysteemi perustuu koko ekosysteemin laajuisiin arvontuotantomenetelmiin. Sen sijaan, että keskityttäisiin yksittäisen yrityksen liiketoimintaan ja arvontuottamiseen, huomioidaan koko ekosysteemin tuottama arvo. Tällä hetkellä ekosysteemien vakiintumattomat rakenteet ovat kuitenkin haasteena IoT-järjestelmien kehittämisessä. (Westerlund *et al.* 2014).

6.2.2 Lisäarvon tuottaminen

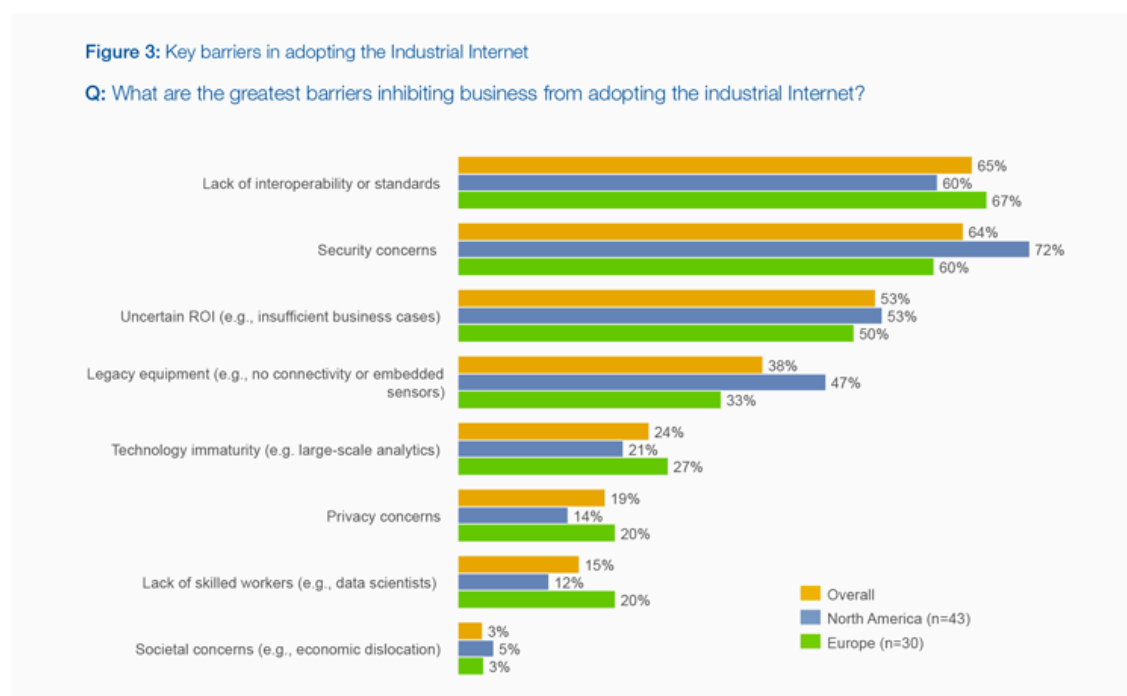
Granlundin mukaan IoT:n tuoma lisäarvo tai hyöty voi koostua kahdesta asiasta: Tehokkuuden lisäämisestä prosesseja parantamalla tai liikevaihdon lisäämisestä laatua parantamalla tai jotain uutta tarjoamalla. Data itsessään ei tuota lisäarvoa, vaan vasta kun kerättyä ja analysoitua tietoa käytetään päätöksenteossa, se tuottaa yritykselle hyötyä. Kun kyseessä ovat kiinteistön IoT-palvelut, on kiinteistön loppukäyttäjän huomioiminen tärkeässä asemassa. Digitaalinen kiinteistöpalvelu voi tuoda mukanaan uusia näkökulmia, parempaa kiinteistön sisäistä kommunikaatiota, hyvää palvelua käyttäjälle ja lisää liikevaihtoa omistajille. (Granlund 2017).

Tehokkuuden lisäämiseen liittyen IoT:n on katsottu mahdollistavan niin kutsutun korkealla tarkkuudella toimivan liiketoiminnan ja prosessien hallinnan (High resolution management). Tämä tarkoittaa useista tietolähteistä kerätyn datan yhdistämistä ja analysointia, mikä auttaa kokonaisuuksien hallitsemisessa, antamalla prosesseista sellaista tietoa, mikä on aiemmin jäänyt pimentoon. Suurempi kerätyn tiedon määrä ja monipuolisuus antavat paremman kuvan prosessien etenemisestä ja auttavat siten myös näihin liittyvien päätösten teossa. (Weinberger *et al.* 2016).

Alkuvaiheessa olevan ekosysteemin arvojärjestelmän selvittäminen ei kuitenkaan ole yksinkertaista. Kehittymässä olevat arvojärjestelmät sisältävät dynaamisia ja moniulotteisia oppimisprosesseja sekä organisaatioiden välisten suhteiden muodostumisia, joita ei voida etukäteen määritellä (Möller *et al.* 2005).

6.3 IoT-palvelun haasteet ja mahdolliset ongelmat

Tässä luvussa keskitytään IoT:n sekä sitä käyttävien kiinteistöpalvelujen haasteisiin ja mahdollisiin ongelmakohtiin. World Economic Forum on listannut suurimpia esteitä IoT:n käyttöönotossa maailman eri osissa (Kuva 10).



Kuva 10. Tärkeimmät haasteet IoT:n käyttöönotossa (World Economic Forum 2015).

Ylläolevasta kuvasta nähdään, että suurimmat haasteet IoT:n käyttöönotossa ovat yhteen toimivien standardien puute sekä turvallisuuskysymykset. Seuraavaksi suurimpana haasteena on toimivan liiketoimintamallin puute ja epävarma taloudellinen tuottavuus. Muita haasteita ovat ongelmat vanhojen laitteiden yhdistettävyydessä, teknologian kehittymättömyys, yksityisyyden turvaaminen, osaamisen puute, sekä sosiaaliset vaikutukset.

6.3.1 Heterogeenisyys

Laitteiden ja esineiden monimuotoisuus ja lukuiset yhteen toimimattomat standardit ovat suuri haaste IoT-järjestelmien kehityksessä. Esineiden internet on protokollien osalta tavanomaista internetiä monimuotoisempi ja heterogeenisempi, mikä aiheuttaa ongelmia palvelujen ja järjestelmien yhtensovittamisessa. Tämä johtuu osin IoT:n perusluonteesta, missä laitteet ja sovellukset ovat kauempana puhtaasta digitaalisesta maailmasta

ja osa todellista ympäristöä. Ympäröivään maailmaan integroituneena IoT:n täytyy täysin uudella tavalla kohdata ja yrittää selviytyä todellisen maailman asettamista fyysisistä rajoitteista, kuten laitteiden välisistä etäisyyksistä tai ympärillä olevista radioaaltojen etenemiseen vaikuttavista materiaaleista. Vaikka langattomat yhteydet ovat jo kauan kuuluneet internetin ominaisuuksiin, vasta IoT:n yhteydessä ne muodostavat kiinteän osan sovelluksia. (Fleisch 2010).

6.3.2 Datan analysointi

Data ei yksinään ole arvokasta, vaan se tulee analysoida ja jalostaa helposti ymmärrettävään muotoon ja toiminnan kannalta merkittäviksi huomioiksi, minkä perusteella automaattisia toimintoja voidaan suorittaa tai joiden perusteella toimintaa voidaan kehittää. Yksittäisissä vertikaalisissa ratkaisuihin datan käsittely on suoraviivaisempaa, mutta kehittyneiden, useita datalähteitä hyödyntävien palveluiden tapauksissa tarvitaan kehittyntä data-analytiikkaa.

IoT:n tapauksessa kerättyä dataa leimaavat neljä ominaisuutta: Heterogeenisyys, epätarkkuus, massiivinen reaaliaikainen data, sekä epäsuora semantiikka. (Ma *et al.* 2013).

Datan heterogeenisyys juontuu useiden eri datalähteiden käyttämisestä. Eri laitteet tuottavat eri tyyppistä dataa joiden muoto voi vaihdella numeromuotoisesta datasta merkkijonoihin tai esimerkiksi ääni- tai videotallenteisiin. Monenlaisten eri datatyyppien yhdistäminen on vaativa, mutta oleellinen haaste sovelluksen hyödyntämisen kannalta.

Tiedon epätarkkuus riippuu mittalaitteesta. Mahdolliset virheet yhdessä datalähteessä saattavat vaikuttaa merkittävästi data-analyysin lopputulokseen, joten virheisiin täytyy varautua jo sensoritasolla. Virheitä on eri tyyppisiä: sensorilaitte voi jättää tapahtuman huomioimatta, se voi poimia ylimää räisiä lukemia taustamelusta, data voi olla odotetun raja-arvon ulkopuolella tai usean mittalaitteen samasta tapahtumasta poimima kaksoislukema (Ma *et al.* 2013).

Massiivinen reaaliaikainen data voi aiheuttaa nopeasti ongelmia resurssien ollessa rajalliset. Useasta lähteestä samaan aikaan tuleva data kuormittaa paitsi verkkoa, myös vaikeuttaa tiedon analysointia. Laitteiden välinen reaaliaikaisen tiedon virta asettaa vaatimuksia datan suodattamiselle, varastoinnille ja pakkaamiselle.

Epäsuora semantiikka tarkoittaa, ettei yksinkertaisesta jäsentämättömästä raakadatasta voida tehdä johtopäätöksiä ennen datan laajamittaista suodattamista, prosessointia ja analysointia.

Edellä mainittujen haasteiden vuoksi datan analysointi vaatii kehittyneitä algoritmeja, jotta siitä saadaan käyttökelpoisia ja hyödyllisiä tuloksia. Tällaista järjestelmätöntä suurta datamäärää ja sen hallintaa, eli big dataa on viime aikoina tutkittu laajasti. Eräässä

esitettyssä ratkaisussa datan käsittely on jaettu kolmeen eri kerroksessa tapahtuvaan vaiheeseen: Datan puhdistus, event-prosessointi sekä varastointi ja analysointi. Luotettavan analysointimenetelmän kehittäminen on kuitenkin yhä suuri haaste. (Ma *et al.* 2013), (Assuncao *et al.* 2013).

Mikäli kiinteistöpalvelu on tarpeeksi kehittynyt, ei sitä välttämättä voida suorittaa automaattisen data-analysoinnin avulla. Koska data-analysointi ei kuulu perinteiseen kiinteistöpalveluun, voidaan digitaalisen palvelun ylläpitämiseksi tarvita uutta koulutusta tai joissain tapauksissa erillisen data-analyytikon hankkimista.

6.3.3 Yksityisyys ja tietoturva

Yksityisyyden takaaminen ja tietoturva ovat herättäneet paljon keskustelua IoT:n haasteista puhuttaessa. Ympäristön seuranta sensoreilla, yhdessä toimivien laitteiden suuri määrä, verkon skaalautuvuus mahdollistamalla uusien laitteiden lisääminen sekä pyrkimys automatisoida mahdollisimman suuri osa prosesseista, tekevät turvallisuuskysymykset IoT:n kohdalla erityisen merkittäviksi (Mendez *et al.* 2017).

Järjestelmien ja tiedon turvallisuus voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen: Saatavuus, eheys ja luottamuksellisuus (Mendez *et al.* 2017), (Radovan & Golub 2017). Saatavuus tarkoittaa yhteyksien ja tiedonsiirron toimivuutta tarkoituksen mukaisella tavalla ja nopeudella sekä yleisesti kyseessä olevan palvelun toimivuutta, siten että asiakas pystyy sitä käyttämään. Eheys tarkoittaa, että kaikki data pysyy muokkaamattomana verkostossa lähteen ja määränpään välillä liikkeessa, eikä siihen pääse käsiksi muut kuin siihen valtuutetut tahot. Luottamuksellisuus tarkoittaa datan turvaamista ja salaamista koko tiedonsiirtoprosessin aikana siten, että kukaan ulkopuolinen ei pysty sitä missään välissä lukemaan.

IBM:n julkaisema listaus nostaa esille useita IoT:n turvallisuuteen liittyviä seikkoja. Merkittävä ero IoT-laitteiden ja perinteisten tietokoneiden ja mobiililaitteiden välillä on, ettei IoT-laitteilla ole aktiivista käyttäjää tai edes käyttöliittymää. Laitteet eivät siten ole jatkuvan valvonnan alaisena, joten fyysisiä ja digitaalisia vikoja on vaikeampi havaita

Kun kyseessä ovat digitaaliset palvelut, toimintaympäristö saattaa muuttua hyvin nopeasti. Vanhentuneet käytännöt ja haavoittuvuuksien löytyminen luovat tarpeen päivityksien asentamiselle. Digitaalisen palvelun yhteydessä on myös varauduttava tilanteisiin, joissa palveluntarjoajan tuotteelle tarjoama tuki saattaa loppua ennen kuin palvelusta on luovuttu.

Mikäli laitteissa on sisäänrakennettuna oletustunnuksia ja salasanoja, tulee ne vaihtaa välittömästi käyttöönnoton yhteydessä. Laitteiden ei pidä antaa toimia kytkettynä verkkoon, jos oletustunnuksia ei ole vaihdettu. Muuten laitteisiin pystyy pääsemään käsiksi varsin helposti myös järjestelmän ulkopuolelta.

Datan tulee olla tarpeeksi anonyymiä, jotta siitä ei pystytä erittelemään yksityiseen henkilöön liittyviä henkilökohtaisia tietoja. Data täytyy olla turvattuna koko matkan sensorista varsinaiseen palveluun, ja se tulee säilöä turvallisesti. Datan säilömisessä tulee huomioida myös alueelliset keskukset ja mahdollisesti eri alueiden välillä vaihtuva lainsäädäntö. Datan koko elinkaari täytyy olla suunniteltuna. Mukaan lukien suunnitelma vanhan, tarpeettoman datan poistamiselle. Sensorit tuottavat nopeasti suuria määriä dataa, joten täytyy huolehtia, että käytössä ja varastoituna on pelkästään tarpeellista dataa. (IBM Security 2017)

Useat tutkimukset ovat listanneet mahdollisia tietoturva-aukkoja IoT-verkostoissa. Esimerkiksi WSN:n ja RFID:n tietoturvaongelmia ja etenkin palvelunestohyökkäykset (Borghain *et al.* 2015)

6.3.4 Järjestelmän suunnittelu ja asentaminen

Sensorijärjestelmät täytyy ottaa mukaan rakennusten suunnitteluun. Mitä aiemmin ja tarkemmin IoT-järjestelmän sisällyttäminen rakennukseen suunnitellaan, sitä edullisemmaksi se lopulta tulee. Kattava järjestelmä vaatii huomattavan määrän sensorilaitteita, joiden asentaminen jälkikäteen voi olla työlästä ja joissain tapauksissa vaatia rinnakkaisia tietoliikennetkaisuja. Nämä puolestaan nostavat järjestelmän kustannuksia (Walden 2016). Jotta IoT-järjestelmä voitaisiin sisällyttää rakennuksen suunnitteluprosessiin, on ratkaisujen ensin kehityttävä prototyypeistä luotettavammiksi ja viimeistellymmiksi tuotteiksi. Järjestelmien on myös oltava selkeämpiä ja niiden käytön helppoa, että huoltomiehet ja teknikot, jotka eivät välttämättä ole erityisen perehtyneitä tietotekniikkaan, osaavat hallita niitä. (Weng & Agarwal 2012).

Vaikka IoT-järjestelmät kannattaa suunnitella varhaisessa vaiheessa, tulee niissä ottaa huomioon myös mahdolliset myöhemmät laajennukset. IoT:n kattavan ja monipuolisen luonteen vuoksi skaalautuvuus on tärkeää järjestelmän hyödyllisyyden ja eliniän kannalta. Ala on jatkuvassa kehityksessä, ja uusia ratkaisuja syntyy jatkuvasti. Siksi muutokseen on hyvä varautua jo etukäteen. (Walden 2016).

6.3.5 Luotettavuus

Digitaalisissa järjestelmissä on tärkeää panostaa toiminnan luotettavuuteen. Uuden järjestelmän käyttöönotossa saattaa ilmetä ennalta aavistamattomia ongelmia, jotka aiheuttavat häiriöitä sen toiminnassa.

Yksi luotettavuuden osa-alue on järjestelmän toiminnan varmistaminen virhetiloissa. Kun kiinteistöpalvelussa käytetään laitteita, jotka ovat yhteyksissä muiden laitteiden kanssa langattomasti sekä internetin välityksellä, on varmistuttava, että kiinteistöpalvelut

toimivat mahdollisimman hyvin myös yhteyden puuttuessa. Esimerkiksi älykkäästi ohjattavat termostaatit eivät saa laskea oleskelutilojen lämpötilaa liian matalaksi, vaikka digitaaliseen palveluympäristöön tulisi ongelmia. (IBM Security 2017).

Toiminnan on myös oltava jatkuvaa. Digitaaliset järjestelmät uudistuvat nopealla tahdilla, jolloin pidempään käytössä olleet järjestelmät saattavat vanhentua. Kiinteistössä on varmistuttava, ettei jokin tietojärjestelmän osa jää ilman valmistajan tukea ja aiheuta haavoittuvuuksia. Luotettavuus on tärkeää huomioida jo suunnitteluvaiheessa, jolloin mahdollisiin ongelmiin voidaan varautua hyvissä ajoin ennen järjestelmän käyttöönottoa. (IBM Security 2017).

IoT-järjestelmä voi käyttäjästä tuntua epäluotettavalta, vaikka järjestelmän toiminnassa ei olisikaan ongelmia. Uusiin järjestelmiin saattaa liittyä pelkoja ja ennakoasenteita, jotka palvelun tuottajan täytyy todistaa aiheettomiksi. Ongelmaa voidaan lähestyä tekemällä palvelun käyttäminen valinnaiseksi ja käyttöliittymä yksinkertaiseksi. (Granlund 2017).

6.3.6 Roolit

Monialaisen IoT-järjestelmän integroiminen kiinteistöön herättää kysymyksiä kiinteistön sisäisistä rooleista järjestelmään liittyen. Järjestelmä kattaa niin hallinnon, IT-palvelut, tilat sekä huollon, jotka ovat yliopistokiinteistöissä usein erillisiä osastoita. Kiinteistön sisällä on oltava selkeä kuva siitä, kuka järjestelmästä tai sen osista vastaa sekä siitä kuka ja miten sitä lopulta käyttää. (Walden 2016) On myös mahdollista, ettei kiinteistöstä vastaavista osastoista löydy tarvittavaa osaamista esimerkiksi datan analysointiin ja tiedonkeräysjärjestelmän hyödyntämiseen (JLL 2016).

Eri toimijoiden roolien määrittely on tärkeää myös datan suhteen. On tiedettävä kuka datasta vastaa, miten, missä ja kuinka kauan se säilytetään, sekä kuka sen omistaa. Datan omistajuudella ja säilytyksellä on suuri merkitys myös yksityisyyden ja turvallisuuden kannalta. (Whitmore *et al.* 2015).

7. TUTKIMUKSEN EMPIIRISEN OSAN TOTEUTUS

7.1 Tutkimusmenetelmien valinta

Tutkimusmenetelmäksi valittiin kvalitatiivinen tutkimus, tarkoituksena mitata ilmiön luonnetta kokonaisvaltaisesti laadullisesta näkökulmasta. Tutkimuksen käytännön osuudet suoritettiin kahdessa osassa.

Ensimmäisen osan menetelmäksi valikoitui verkkokysely, joka kohdistettiin Suomen yliopistojen tilanhallinnasta ja tietojärjestelmistä vastaavalle henkilökunnalle. Verkkokysely valittiin sen helpon toteutettavuuden vuoksi. Virpa-C projektissa mukana olevilla henkilöillä oli myös kontakteja Suomen yliopistoihin, joten kyselyn kohdistaminen oikeille henkilöille oli vaivatonta. Lisäksi kyselytutkimus on tässä työssä sivuaineistona, joten kyselyyn ei ollut tarkoituksenmukaista käyttää kaikkia tutkimuksen resursseja. Valintaa tehdessä huomioitiin myös kyselytutkimuksen heikkoudet, joiden mukaan ei voida täysin varmistua esimerkiksi siitä, miten vakavasti vastaajat suhtautuvat kyselyyn, miten onnistuneita vastausvaihtoehdot vastaajien mielestä ovat, sekä siitä kuinka paljon vastaajat aiheesta tietävät (Hirsijärvi *et al.* 2007). Tutkimuksen rajoituksia on käsitelty erikseen luvussa 10.3.

Toinen osa suoritettiin havainnointitutkimuksena, tarkoituksena seurata digitaalisen kiinteistöpalvelun kehittämistä käytännön projektin kautta. Havainnointi suoritettiin osallistumalla pilottihankkeen kokouksiin ja kirjaamalla havaintoja puheenvuoroista ja keskusteluista. Näiden kirjausten perusteella tehtiin laadullisia arviointeja projektin etenemisestä ja kohdatuista ongelmista.

7.2 Osa 1: Smart Campus Tools -tutkimus

Tämän tutkimuksen ensimmäisessä osassa suoritettiin Suomen yliopistoille kohdistettu Smart Campus Tools kysely. Kyselyn kysymykset perustuvat Alankomaissa, Delftin teknillisessä yliopistossa suoritettuun tutkimukseen, jossa Alankomaiden yliopistoilta kysyttiin heidän käyttämistä älykkäistä kampuksen tilojen hallintaan liittyvistä työkaluista (Smart campus tools). Haastattelut suoritettiin sähköisen kyselypohjan avulla, joka lähetettiin Suomen yliopistoiden tilanhallinnasta ja tietojärjestelmistä vastaaville henkilöille.

Kyselyllä pyrittiin selvittämään, millaisilla työkaluilla eri yliopistokampusten tiloja ja tilavarauksia hallitaan ja kuinka paljon näissä hyödynnetään tilankäytön seuranta. Myös työkalujen avulla saavutettavat tavoitteet sekä työkaluihin suunnitellut muutokset on

otettu osaksi kyselyä. Suomenkielisen kyselyn kysymykset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä A.

Kyselyllä kartoitetaan älykkäiden tilankäytön seurantamenetelmien hyödyntämistä eri yliopistokampuksilla, tavoitteena tuoda esille käytännön keinoja tilojen käytön tehostamiseksi. Pyrkimyksenä on selvittää, millaisia käytännön työkaluja tilojen hallintaan on käytössä, sekä mitä niiden käytöllä on pyritty saavuttamaan. Kyselytutkimus pohjautuu hypoteesiin, jonka mukaan reaaliaikaisella käytön seurannalla pystytään hyödyntämään tiloja tehokkaammin ja välttämään tilojen liialliselta tyhjillään olemiselta.

7.3 Osa 2: Virtuaalinen palveluympäristö

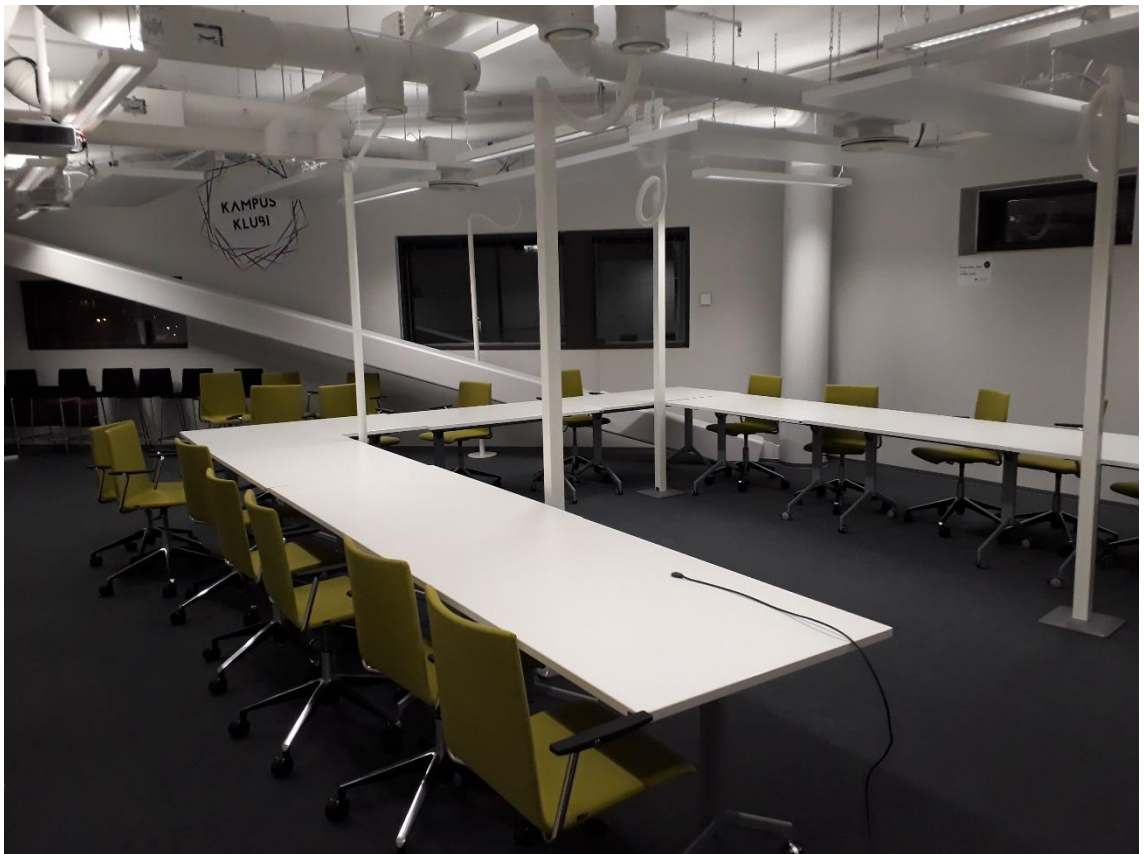
Tämä tutkimus suoritettiin myös osana kiinteistötoimialan Virtuaalinen palveluympäristö (Virpa-C) -yhteishanketta, jonka tarkoituksena on kehittää kiinteistöpalveluja teknologia- ja liiketoiminta-alustoilla. Hankkeen tavoitteena on kehittää kiinteistöjen käyttäjäkokemusta, elinkaaren hallintaa sekä uusia liiketoimintamalleja. Hankkeessa on osallisena 15 yritystä ja kolme tutkimusryhmää, jotka tuovat mukanaan osaamista kiinteistöjen suunnittelusta, rakentamisesta, johtamisesta, energianhallinnasta, ICT:stä ja palveluliiketoiminnasta.

Virpa-C hankkeeseen liittyy käytännön kohteissa suoritettut palveluympäristön kehittämistoimet kolmessa eri pilottikohteessa. Tutkimuksen pilottikohteina toimivat Tampereen teknillisen yliopiston Kampusareena, Oulun yliopiston kampus, sekä Turun yliopiston Medisiina D. Pilottikohteet poikkeavat jonkin verran toisistaan. Oulun yliopiston kampuksella toimivat muun muassa tutkimus- ja opetustoimintaa yhdistelevä langattoman tiedonsiirron tutkimuskeskus Centre for Wireless Communications (CWC) sekä verkostoitumiseen ja ryhmätyöskentelyyn sekä yleiseen oleskeluun suunniteltu avoin tila - Tellus Innovation Arena. Medisiina D on puolestaan uudisrakennus, joka valmistuu Turun Kupittaaan kampusalueelle arvion mukaan kesällä 2018. Rakennuksen käyttäjiä ovat Turun yliopisto, Varsinais-Suomen sairaanhoitopiiri, Turun ammattikorkeakoulu sekä Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos THL. Rakennukseen on tulossa niin opetustiloja, kuin myös sairaanhoitoon ja lääketieteeseen erikoistuneita tiloja.

Tässä tutkimuksessa keskityttiin kuitenkin Tampereen teknillisen yliopiston Kampusklubin pilottiin. Tampereen Hervannassa sijaitseva Kampusareena valmistui vuonna 2015 Tampereen teknillisen yliopiston ja yritysten yhteiskäyttöön. Tiloista noin 40 prosenttia on varattu yrityksille, noin 10 prosenttia liiketoimintaan ja noin 50 prosenttia on yliopiston käytössä. Rakennuksessa on runsaasti avoimia työ-, neuvottelu- ja opetustiloja sekä näyttelytilaa. Kampusareenan demot suoritettiin 5. kerroksen Kampusklubilla. Kampusklubi on yliopiston ja yritysten välisen yhteistyön kehittämiseen suunniteltu monitoimitila, jossa järjestetään paljon erilaisia seminaareja ja kehitystapahtumia. Kampusklubilla on sekä avoimia esitystiloja että suljettuja neuvottelutiloja, joita on esitetty kuvissa 11 ja 12.



Kuva 11. Kampusklubin avoimia tiloja Tampereen teknillisellä yliopistolla.



Kuva 12. Kampusklubin kokoushuone Giga.

Kampusklubin pilottikokeilussa tilaan asennettuja sensoreista kerättiin dataa kuukauden ajan. Kerättyyn dataan kuului muun muassa lämpötilatietoja, tilojen läsnäolotietoja ja sisäilman laatu tietoja. Tilojen rakennusautomaatiojärjestelmän laitteistoa on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 13. *Kampusklubin rakennusautomaation laitteistoa.*

Kerätyn datan hyödyntämiseen suunniteltiin eri vaihtoehtoja. Kampusklubin 3D-malliin luotiin visualisaatio kerätystä datasta, jonka avulla lämpötilan vaihteluita voitiin seurata. Mittalaitteisiin suunniteltiin myös asennettavan QR-koodeja, joiden avulla huoltohenkilökunta voi seurata kyseisen mittapisteen arvoja. QR-koodien luku voisi tapahtua mobiililaitteen avulla, tai data voitaisiin esittää käyttäjälle suoraan mittapisteessä, lisättyä todellisuutta hyödyntävien älylasien avulla. Suunnitelmissa oli myös sisäilmastokartan laatiminen alueesta. Kyseisen kartan perusteella käyttäjät voisivat valita omia sisäilmaolosuhteiden mieltymyksiä vastaavan työpisteen. Yhdessä suunnitelmassa käyttäjillä olisi puolestaan mahdollisuus kertoa mielipiteensä tilan olosuhteista elektronisen palautekanavan kautta. Palaute voitaisiin kerätä tilaan sijoitetuille kosketusnäytöillä tai mekaanisilla painikkeilla. Kosketusnäytöltä käyttäjät voisivat myös tarkastella tilan mittaustietoja.

8. TULOKSET

8.1 Osa 1: Smart Campus Tools

Tämän työn yhteydessä suoritetun Smart Campus Tools tutkimuksen tulokset on esitetty kappaleessa 8.1.2. Alankomaissa suoritetun tutkimuksen tulokset on esitetty vertailuaineistona kappaleessa 8.1.1.

8.1.1 Tutkimus Alankomaissa

Alankomaissa suoritettuun tutkimukseen osallistui 13 yliopistoa, jotka toimittivat tiedot yhteensä 26 yliopiston älykkästä työkalusta. Työkalut on lueteltu taulukossa (Taulukko 2).

Taulukko 2. Alankomaiden tutkimuksen älykkäät työkalut.

Numero	Tilatyytit	Sovellus	Kohderyhmä	Seurantatapa	Päätavoite
1	Luentosalit, luokkahuoneet	Reaaliaikainen tilankäytön seuranta opetustiloissa	Aikataulujen suunnittelijat, kiinteistöpäälliköt	Wi-Fi	Tarvittavan rakennuspinta-alan vähentäminen
2	Luentosalit, luokkahuoneet	Tilankäytön seuranta opetustiloissa jälkikäteen	Kiinteistöpäälliköt	Varauksiin liitetty manuaalinen laskenta	Tarvittavan rakennuspinta-alan vähentäminen
3	Tietokone-luokat	Reaaliaikainen tilankäytön seuranta tietokone-luokissa	Aikataulujen suunnittelijat	Tietokoneiden kirjautumistiedot	Tarvittavan rakennuspinta-alan vähentäminen
4	Luentosalit, luokkahuoneet	Tilankäytön seuranta opetustiloissa jälkikäteen	Kiinteistöpäälliköt	Videokamera (manuaalinen laskenta)	Tarvittavan rakennuspinta-alan vähentäminen
5-11	Tietokone-luokat	Vapaana olevien tietokoneiden esittäminen	Käyttäjät (opiskelijat)	Tietokoneiden kirjautumistiedot	Käyttäjän toiminnan tukeminen
12	Opiskelutilat	Reaaliaikainen rakennuksen vapaana	Käyttäjät (opiskelijat)	Videokamera	Käyttäjän toiminnan tukeminen

		olevien opiskelutilojen esittäminen			
13-16	Opiskelijoiden kokoushuoneet	Pienten kokoushuoneiden ja ryhmätilojen varausjärjestelmä	Käyttäjät (opiskelijat)	Varausten seuranta	Käyttäjän toiminnan tukeminen
17-19	Luentosalit, luokkahuoneet	Reaaliaikainen tilojen saatavuus itseopiskelua varten	Käyttäjät (opiskelijat)	Varauskalenteri	Käyttäjän toiminnan tukeminen
20	Toimistotilat, kokoushuoneet	Vapaana olevien toimistotilojen ja kokoushuoneiden esittäminen reaaliajassa	Käyttäjät (henkilöstö)	Työpöytäsensorit (infrapuna)	Käyttäjän toiminnan tukeminen
21-22	Kokoushuoneet	Vapaana olevien kokoushuoneiden esittäminen reaaliajassa	Käyttäjät (henkilöstö)	Varausten seuranta	Käyttäjän toiminnan tukeminen
23-24	Luentosalit	Energiankulutuksen, valaistuksen ja ilmastoinnin säätäminen varauskalenterin perusteella	-	Varausten seuranta / kulkukorttien käyttö	Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen
25	Pysäköintitilat	Vapaiden pysäköintitilojen esittäminen reaaliajassa	Käyttäjät	Infrapuna	Käyttäjän toiminnan tukeminen
26	Kaikki tilatyypit	Sisätilojen navigointi karttojen avulla	Käyttäjät	-	Käyttäjän toiminnan tukeminen

Osa työkaluista esiintyi useamman kerran ja on siten yhdistetty saman kuvauksen alle. Erilaisia työkaluja on lopulta 13 kappaletta.

8.1.2 Tutkimus Suomessa

Suomessa yliopistoille lähetettyyn kyselyyn vastasi seitsemän yliopistoa. Näiden lisäksi kaksi yliopistoa vastasi, ettei heillä ole käytössä sellaisia älykkäitä työkaluja, joita tutkimuksessa kartoitettiin. Älykkäitä työkaluja kerääntyi yliopistoilta yhteensä kahdeksan. Työkalut on listattu taulukkoon 3.

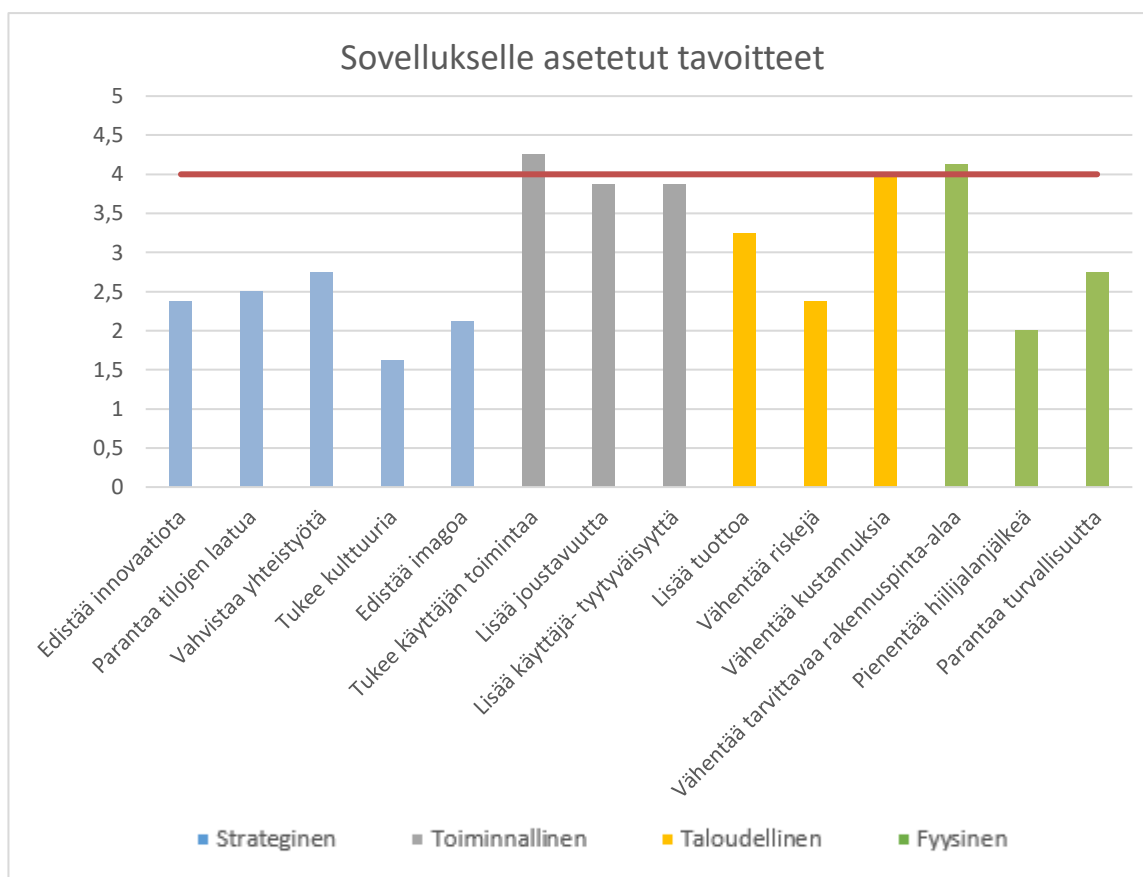
Taulukko 3. Suomen tutkimuksen älykkäät työkalut.

Numero	Tilatyypit	Sovellus	Kohderyhmä	Seurantatapa	Päätavoite
1	Koko rakennus	Reaaliaikainen tilojen varausjärjestelmä ja varaustilanteen seuranta	Tilapalvelut, käyttäjät (tilojen varaajat)	Varausten seuranta	Tarvittavan rakennuspinta-alan ja kustannusten vähentäminen, joustavuuden lisääminen
2	Opetustilat, kokoushuoneet	Reaaliaikainen tilojen varausjärjestelmä	Tilapalvelut	Varausten seuranta	Tarvittavan rakennuspinta-alan ja kustannusten vähentäminen, käyttäjän toiminnan tukeminen
3	Opetus- ja opiskelutilat, projekti- ja kokoushuoneet	Tilojen varaaminen ja varaustilanteen seuranta	Tilapalvelut, käyttäjät (tilojen varaajat)	Varausten seuranta	Taloudellisen tuottavuuden lisääminen
4	Opetustilat	Tilojen varaaminen ja varaustilanteen seuranta	Tilapalvelut	Varausten seuranta	Tarvittavan rakennuspinta-alan vähentäminen
5	Koko rakennus	Tilankäytön seuranta, reitin löytäminen ja järjestelmien yhdistäminen	kiinteistön hallinto, tilapalvelut, käyttäjät (tilojen varaajat)	Varausten seuranta (sensorien käyttö mahdollista)	Käyttäjän toiminnan, käyttäytyvyyden ja turvallisuuden lisääminen
6	Opetus- ja opiskelutilat, projekti- ja kokoushuoneet	Reaaliaikainen tilojen varausjärjestelmä, varaustilanteen seuranta sekä navigointi	Kaikki kampuksen käyttäjät	Varausten seuranta	Innovaation, imagon, käyttäjän toiminnan ja käyttäytyvyyden edistäminen
7	Koko rakennus	Vapaan työtilan löytäminen ja tilankäytön seuranta	Tilapalvelut, käyttäjät (tilojen varaajat)	-	Tarvittavan rakennuspinta-alan vähentä-

					minen ja käyttäjän toiminnan tukeminen
8	Koko rakennus	Tilojen varaaminen, vapaan työtilan löytäminen ja tilankäytön seuranta	Tilapalvelut	Varausten seuranta	Tarvittavan rakennuspinta-alan ja kustannusten vähentäminen, käyttäjän toiminnan tukeminen

Myös Suomen tutkimuksessa esiintyi useita samankaltaisia työkaluja, joilla oli joissain tapauksissa myös sama tuotenimi. Vastaukset erosivat kuitenkin esimerkiksi tilatyypin ja tavoitteiden kohdalla, joten jokainen sovellus on tässä esitetty erikseen.

Sovelluksille asetetut tavoitteet on alkuperäisen tutkimuksen mukaisesti jaettu neljään osa-alueeseen: strateginen, toiminnallinen, taloudellinen ja fyysinen. Yliopistoilta kysyttiin työkaluille asetettujen tavoitteiden tärkeyttä asteikolla 1 – 5, jossa tärkeimmät tavoitteet saivat eniten pisteitä. Eri sovelluksien tavoitteiden jakaumat on esitetty liitteessä B. Tulosten keskiarvot on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 14).



Kuva 14. Sovelluksille asetettujen tavoitteiden ensisijaisuuden keskiarvo. Asteikko: 1: ei oleellinen tavoite - 5: ensisijainen tavoite. Punainen poikkiviiva on lisätty korostamaan kolmea ensisijaisinta tavoitetta.

Sovelluksille asetetuissa tavoitteissa korostuvat ensisijaisesti käyttäjän toiminnan tukeminen, kustannuksien vähentäminen, sekä tarvittavan rakennuspinta-alan vähentäminen. Kokonaisuuksista toiminnallinen näkökulma asettuu selkeästi korkeimmalle. Myös taloudellinen puoli on katsottu tärkeäksi strategisen ja fyysisen osa-alueen prioriteettien jäädessä tärkeydessä alemmalle tasolle. Poikkeuksena on tarvittavan rakennuspinta-alan vähentäminen, joka on nostettu toiseksi tärkeimmäksi yksittäiseksi tavoitteeksi.

8.1.3 Smart Campus Tools -tutkimuksen yhteenveto

Sovellukset keskittyvät pääasiassa tilojen varaamiseen ja käytön seurantaan varausten perusteella. Osassa sovelluksista järjestelmiä on yhdistetty. Kyselyssä olevien toimintovaihtoehtojen lisäksi useiden sovellusten kohdalla oli maininta myös sisäisestä vuokrauksesta ja laskutuksesta. Sensoriteknologiaa ei tutkimuksen suorittamisen aikana ollut yhdessäkään sovelluksessa käytössä, mutta osassa järjestelmistä on myös mahdollisuus sensordatan hyödyntämiselle.

Käytössä olevat työkalut ovat pääasiassa toimittajilta tilattuja tuotteita. Omien järjestelmien kehittäminen ei ole yleistä, mutta tilattuja työkaluja kehitetään edelleen yhdessä toimittajan kanssa. Osassa yliopistoista on kuitenkin myös omia yliopistojen itse kehittämiä työkaluja.

Sovelluksille asetetuista tavoitteista päällimmäisiksi nousivat käyttäjän toiminnan tukeminen, kustannusten vähentäminen sekä tarvittavan rakennuspinta-alan vähentäminen. Nämä kertovat sovellusten pääasiallisesta tarkoituksesta tilankäytön tehostamiseen niin taloudellisesti kuin myös käyttäjän toiminnan kannalta. Työkaluilla ei pääsääntöisesti juurikaan pyritä edistämään strategisia tavoitteita kuten innovaation, kulttuurin tai imagon edistämistä.

Molemmissa tutkimuksissa esiintyy useita perinteiseen varauskalenteriin perustuvia järjestelmiä. Kuten Alankomaiden tutkimuksen tuloksista huomattiin, työkalun ei yliopistoilta kysyttäessä tarvitse olla reaaliaikainen ollakseen älykäs (Valks *et al.*, 2016). Sama pätee myös Suomessa tehtyyn tutkimukseen.

8.2 Osa 2: Virtuaalinen palveluympäristö

Virtuaalisen palveluympäristön tulokset on muodostettu kirjaamalla havaintoja pilottihankkeen edistymisestä pohjautuen kehitysryhmän kokouksissa ja materiaaleissa esiintulleisiin seikkoihin. Havainnointisuunnitelmaan kuului osallistuminen yhteensä neljään tämän opinnäytetyön tutkimusprosessin aikana pidettävään kokoukseen sekä vapaamuotoisten muistiinpanojen laatiminen kokousten sisällöistä. Kokoukset pidettiin vuoden 2017 aikana, 8. toukokuuta, 13. kesäkuuta, 15. syyskuuta sekä 7. marraskuuta. Kokouksissa oli läsnä pilottihankkeeseen osallistuvien yritysten edustajia.

8.2.1 Havainnot

Vaikka Kampusareena on varustettu sensoreilla poikkeuksellisen kattavasti, eivät asennetut järjestelmät riittäneet kaikkien osapuolten ratkaisujen hyödyntämiseksi, vaan laitteistoa täytyi vielä päivittää.

Rahoituksen järjestäminen projektille on ollut ajoittain hankalaa, ja päättäjiä on täytynyt suostutella projektin aikana tapahtuvien hankintojen toteuttamiseksi. Myös kerätyn datan hyödyntämiseksi oli käytävä neuvotteluja eri tahojen kanssa. Datan käyttöön liittyy paljon byrokratiaa ja avoimia kysymyksiä laillisuudesta. Epäselvää on esimerkiksi, kuka omistaa kerätyn datan, sekä kuinka sitä voidaan käyttää ja mihin tarkoitukseen.

Eri osapuolten jakaessa keräämäänsä dataa toisilleen, esille nousivat myös kysymykset datan yhtenäistämisestä ja keräämisestä yhteiseen paikkaan. Osa mittausdatasta oli saatavissa REST -rajapinnan kautta, osa BACnet-protokollan mukaista ja osa tiedosta oli CSV-muotoista. Datan mittaustiheys vaihteli eri järjestelmien mittalaitteiden välillä, mikä teki

osaltaan reaaliaikaisen järjestelmän luomisen haastavaksi. Ennen eri järjestelmien yhdistämistä, vaadittiin siis jonkin verran ponnisteluja yhteisen kielen löytämiseksi. Esimerkiksi mittausantureiden paikat olivat esitetty valmistajan mukaisen koodauksen mukaan, jolloin ulkopuolisen oli vaikea selvittää, mistä anturista ja sijainnista mikäkin data on peräisin. Kyseisen datan parissa työskenteli myös kolmen hengen joukko opiskelijoita kolmen kuukauden ajan, pyrkimyksenä luoda sovellusta datan pohjalta. Suuri osa tästä ajasta kului juuri datan analysointiin ja muuttamisen helposti luettavaan muotoon.

Mittareiden sijoittelu on keskittynyt talotekniikan toiminnan tukemiseen. Tästä johtuen esimerkiksi liiketunnistussensoreiden tuottaman mittausdata ei ole ollut optimaalista läsnäolotietojen selvittämiseen.

Projektissa ei ole ollut selkeää näkemystä siitä, millainen dataa hyödyntävä palvelu tai sovellus tulee lopulta olemaan ja mikä siitä saatava hyöty on. Kokouksissa on kuitenkin ollut esillä monia erilaisia esimerkkejä ja visioita siitä, mitä tiedolla on mahdollista saada aikaan. Ensisijaisesti projektin päämääränä on ollut erilaisten ratkaisujen kokeileminen käytännössä ja näiden arvioiminen. Lopulliset käytännön sovellukset syntynevät myöhemmin, kokemusten karttuessa ja käytäntöjen vakiintuessa. Osapuolten toiveina on ollut datan avoimuus, mikä tarkoittaisi, että erilaisia dataa hyödyntäviä sovelluksia pystyisivät luomaan myös muut tahot, kuten tiloissa olevat opiskelijat ja yritykset. Avoin data mahdollistaisi myös useamman tietolähteen käyttämisen, mikä auttaisi monipuolisempien palveluiden kehittämisen.

Kiinteistöjen omistajat eivät kuitenkaan ole yleisesti ottaen innostuneita jakamaan kiinteistön tuottamaa dataa. Tämän taustalla on pelko datan väärinkäytöstä ja järjestelmiin pääsemisestä. Lisäksi yhtenä tekijänä saattaa olla myös ymmärryksen puute sovellusten tuottamista potentiaalisista hyödyistä.

Kokouksissa on myös noussut esille keskustelua erilaisista laitteista, joita projektin yhteydessä voitaisiin hankkia ja hyödyntää. Valituilla laitteilla on suuri vaikutus palvelun kehittämiseen sekä lopulliseen palveluun. Tulevaisuudessa vastaavan kiinteistöpalvelun hankkijan täytyy osata vaatia oikeaa tuotetta. Tämä vaatii nykyistä enemmän tietoisuutta laitteiden eri vaihtoehtoista, niiden ominaisuuksista sekä niiden tarjoamista mahdollisuuksista.

9. DIGITAALISTEN KIINTEISTÖPALVELUIDEN KEHITYS JA ARVIOINTI

Tämän tutkimuksen tuotoksena kehitettiin kaksi viitekehystä auttamaan digitaalisen palvelun kehittämisessä sekä arvioinnissa: DiKiPa kehitystaulukko sekä DiKiPa arviointikaavio. Lyhenne DiKiPa tulee sanoista digitaalinen kiinteistöpalvelu. Ensimmäinen tuotoksista, DiKiPa kehitystaulukko, on palvelun kehittämisvaiheeseen keskittyvä luettelo palvelun kehittämisen vaiheista ja tärkeistä kipupisteistä. Toinen tuotoksista, eli DiKiPa arviointikaavio, on kiinteistöpalvelun arviointimalli, joka keskittyy valmiin tai suunnitteilla olevan palvelun arvioimiseen ja auttaa paitsi palveluiden arvioinnissa, myös eri palveluiden vertailemisessa.





Mallit on kehitetty työssä kerätyn aineiston pohjalta, Tarkoituksena on kiteyttää digitaalisen kiinteistöpalvelun kehittämisen aikaiset vaiheet, mahdolliset haasteet ja huomioitavat asiat. Tavoitteena on näiden mallien avulla auttaa kiinteistöpalvelun kehittäjiä kehitystyössä.

9.1 DiKiPa kehitystaulukko

Tässä osiossa on esitetty viitekehys digitaalisen palvelun kehityksen ja vaiheiden jäsentämiseksi. Palvelun kehittämisen vaiheet jakautuvat kolmeen osioon: projektia edeltävä, projektin aikainen sekä projektin jälkeinen. Projektia edeltävä osio kattaa projektin suunnittelu- ja valmisteluvaiheet. Projektin aikainen kattaa palvelun suunnittelun ja toteutuksen. Projektin jälkeinen kattaa palvelun käyttöönoton ja sen jälkeiset vaiheet. Jokaiseen osioon on merkitty vaiheet, joihin tulee kiinnittää erityistä huomiota palvelun kehittämisen aikana.





Jokaisessa vaiheessa on yksi tai useampi näkökulma, joka kertoo mihin kokonaisuuteen kyseisessä vaiheessa vaikutetaan. Näkökulma voi liittyä joko tavoitealueeseen tai johonkin kehitysalueeseen. Tavoitealueet on esitetty taulukossa (Taulukko 4), ja kehitysalueet taulukossa (Taulukko 5).

Taulukko 4. Palvelun tavoitealueet.

			
Strateginen	Toiminnallinen	Taloudellinen	Fyysinen

Edellä olevassa taulukossa on esitetty digitaalisen kiinteistöpalvelun tavoitealueet ja niitä vastaavat kuvakkeet. Tavoitealueet ovat samat kuin Smart Campus Tools -tutkimuksessa. Tämän seurauksena kehitysvaiheet voidaan yhdistää myös kyselytutkimuksessa esille nousseisiin palvelun tavoitteisiin.































Taulukko 5. Palvelun kehitysalueet.

 Sosiaalinen	Sosiaalinen kehitysalue pitää sisällään ihmisiin ja niiden välisiin kontakteihin liittyvät asiat. Se vaikuttaa eniten strategiaan ja toiminnallisiin tavoitteisiin.
 Tekninen	Tekniseen kehitysalueeseen kuuluvat teknologiaan ja rakenteisiin liittyvät asiat. Se vaikuttaa lähinnä toiminnallisiin, taloudellisiin ja fyysisiin tavoitteisiin.
 Logistinen	Logistinen kehitysalue kattaa toteutustapoihin ja järjestelyihin liittyvät asiat. Se vaikuttaa pääasiassa toiminnallisiin, taloudellisiin ja fyysisiin tavoitteisiin.
 Turvallisuuteen liittyvä	Turvallisuuteen liittyvien asioiden kehitysalue pitää kaikki turvallisuuden vaikuttavat seikat, mukaan lukien tietoturvan ja yksityisyyden suojan. Se vaikuttaa eniten toiminnallisiin ja fyysisiin tavoitteisiin.

Edellä olevassa taulukossa on puolestaan esitetty palvelun kehitysalueet, jotka yhdessä tavoitealueiden kanssa kuvaavat kehitysvaiheiden vaikutusta palvelun eri osa-alueisiin. Kehitysalueet on otettu Smart Campus Tools -tutkimuksesta poimittujen tavoitealueiden rinnalle, tarkemmin kuvaamaan kehitysvaihteita ja niiden vaikutuksia. Samassa taulukossa on myös listattu, mihin tavoitealueisiin kyseiset kehitysalueet ja niitä vastaavat kuvakkeet pääasiassa liittyvät. Tämä auttaa linkittämään myös nämä kuvakkeet palvelulle asetettujen tavoitteiden kanssa.

Varsinainen DiKiPa kehitystaulukko on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 6). Taulukkoon on listattu merkittävät digitaalisen kiinteistöpalvelun kehitysvaiheet. Vaiheet on jaettu kehitysprojektin etenemisen mukaan kolmeen osioon: Projektia edeltävä, projektin aikainen, sekä projektin jälkeinen. Jokaiselle vaiheelle on merkitty yksi tai useampia näkökulmia, jotka kertovat, mihin tavoite- tai kehitysalueisiin kyseisessä vaiheessa voidaan vaikuttaa.

Taulukko 6. DiKiPa kehitystaulukko.

Projektia edeltävä: Projektin suunnittelu ja valmistelu		
Tehtävä	Näkökulmat	Kuvaus
Tarve	 	Tarpeen määrittäminen. Mikä ongelma palvelun tuottamisella pyritään ratkaisemaan? Mistä palvelun arvo koostuu?
Tavoitteet	 	Mitä palvelulla pyritään saavuttamaan, käyttäjän, palveluntarjoajan ja kiinteistön omistajan näkökulmista?
Edellytykset	   	Selvitetään kiinteistön tila sekä palvelun toteuttamisen kannalta oleelliset resurssit, mukaan lukien olemassa olevat tietoliikennejärjestelmät.
Sidosryhmät	 	Mitkä tahot palvelua käyttää, ja kuka sitä ylläpitää? Sidosryhmien edustajat on otettava mukaan suunnitteluprosessiin.
Toteutusvaihtoehdot	  	Eriasteiden toteutusvaihtoehtojen läpikäyminen. Palvelun käyttäjämatkan simulointi.
Kustannukset	 	Arvio investointi- ja käyttökustannuksista.
Vaikutusarvio	 	Arvioidaan, miten palvelu tulee muuttamaan olemassa olevia käytäntöjä.
Aikataulu		Aikataulun laatiminen suunnittelulle, asennukselle, käytölle sekä koko elinkaarelle.
Projektin aikainen: Järjestelmän toteuttaminen		
Järjestelmän toteuttaminen	 	Mitä suunnitellaan itse ja mitä ostetaan muilta ja keltä?
Data	 	Missä data säilytetään ja kuinka kauan? Kuka datasta vastaa?
Teknologia	 	Valitaan käytettävä teknologia. Mukaan lukien arkkitehtuuri, laitteet ja protokollat.
Ohjelmisto		Teknologiaa tukevan ohjelmiston hankkiminen tai suunnittelu.
Henkilöstö		Millä tavoin nykyinen henkilöstö osallistuu palvelun tuottamiseen? Tarvitaanko palvelun toteuttamiseksi uutta henkilöstöä?
Asennus	  	Laitteiden ja ohjelmistojen asennustyöt.
Käyttöönotto	 	Järjestelmän käyttöönotto. Siirtyminen vanhasta järjestelmästä uuteen.

Projektin jälkeinen: Ylläpitovaihe		
Opastaminen		Palvelun tiedotus ja käyttäjien opastaminen palvelun käyttöön.
Datan hallinta		Datanhallintajärjestelmän ylläpitäminen.
Tietoturva		Tietoturvan ylläpitäminen.
Vaikutusten seuranta		Vastaako järjestelmän vaikutukset ennen projektia tehtyjä arvioita? Onko projektille asetetut tavoitteet saavutettu?
Käyttäjäkokemus		Käyttöönoton käytettävyyden arviointi, testaus ja mahdolliset kehitystoimenpiteet.
Kehitys		Järjestelmän kehittäminen edelleen.

9.2 DiKiPa arviointikaavio

DiKiPa arviointikaaviossa palvelua tarkastellaan eri osa-alueita mittaamalla ja pisteyttämällä. Osa-alueet kertovat palvelun eri puolista ja auttavat tunnistamaan sen vahvuuksia ja heikkouksia. Osa-alueet ja pisteytysohjeet on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 7).

Taulukko 7. Palvelun arvioinnin osa-alueet ja pisteytys.

Osa-alueet	Kuvaus
1. Innovaatio	Palvelu on innovatiivinen ja tukee uusia käyttötapoja ja mahdollisuuksia kiinteistössä.
2. Laatu	Palvelu on tuotettu laadukkaasti ja edistää osaltaan koko kiinteistön laatua.
3. Yhteistyö	Palvelu edistää yhteistyötä kiinteistön sisällä ja kiinteistöön yhteydessä olevien toimijoiden välillä.
4. Kulttuuri	Palvelu tukee ja edistää kiinteistön kulttuuria.
5. Imago	Palvelu parantaa kiinteistön imagoa ja houkuttelevuutta.
6. Toiminta	Palvelu tukee kiinteistössä tapahtuvaa toimintaa.
7. Joustavuus	Palvelu edistää joustavuutta kiinteistön ja sen käyttäjien toiminnoissa.

8. Käyttäjätyytyväisyys	Palvelu lisää käyttäjätyytyväisyyttä kiinteistöön ja palvelun tuottajaan.
9. Tuottavuus	Palvelu edistää taloudellista ja toiminnallista tuottavuutta.
10. Riskittömyys	Palvelu vähentää kiinteistössä taloudellisia riskejä.
11. Kustannustehokkuus	Palvelu on toteutettu kustannustehokkaasti ja se osaltaan vähentää kiinteistössä tapahtuvan toiminnan kustannuksia.
12. Tilankäyttö	Palvelu edistää ja tehostaa tilojen käyttöä sekä vähentää tilan tarvetta.
13. Ekologisuus	Palvelu on tuotettu ekologisesti, edistää kestävästä kehitystä ja pienentää kiinteistön hiilijalanjälkeä.
14. Turvallisuus	Palvelu on tuotettu turvallisesti ja edistää kiinteistön turvallisuutta.

Osioiden pisteytys tapahtuu seuraavan asteikon mukaisesti:

1 = Ei lainkaan

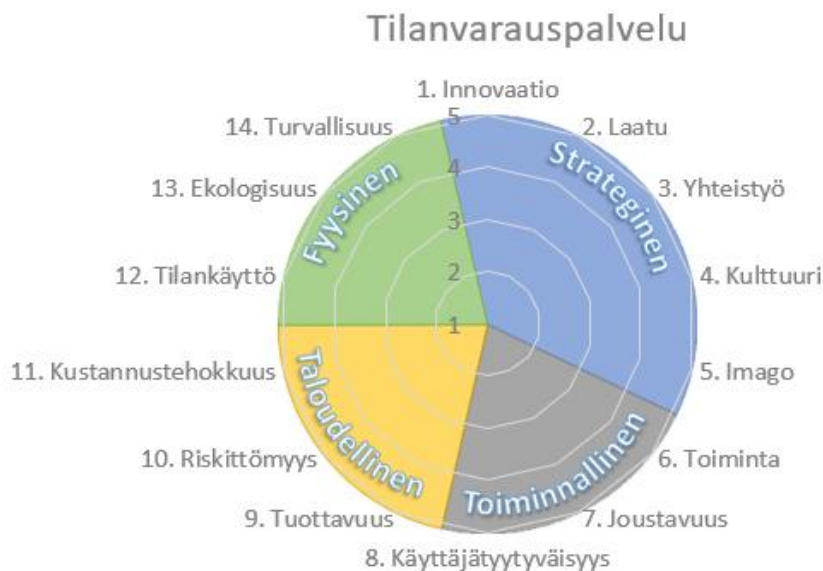
2

3 = Jokseenkin

4

5 = Täysin

Osa-alueet jakautuvat neljään kategoriaan, Smart Campus Tools -tutkimuksessa esitetyn mukaisesti: Strateginen, toiminnallinen, taloudellinen ja fyysinen. Tietyissä kategoriassa kerätyt pisteet kertovat siten myös palvelun luonteesta ja vahvuudesta kyseisellä sektorilla. Kategoriat ja osa-alueiden jakautuminen on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 15).



Kuva 15. DiKiPa arviointikaavio.

Kaavion voi täyttää kuka tahansa palvelun kehityksestä vastaava henkilö. Arvioinnin luotettavuutta edistää, jos arvioinnissa käytetään useampaa sovelluksen tuntevaa asiantuntijaa. Lopullinen kaavio voi olla esimerkiksi kooste asiantuntijaryhmän esittämistä tuloksista. Luotettavan arvion saamiseksi, arviointikaavio vaatii seurakseen myös sanallisen arvioinnin ja perustelut osa-alueiden pisteytyksille. Kaavio onkin ensisijaisesti työkalu sanallisen arvioinnin esittämiseksi visuaalisessa muodossa.

Perusajatuksena on, että arviointikaaviota voidaan käyttää tietyn palvelun perinteisen ja digitaalisen version väliseen vertailuun ja siten digitalisoinnista mahdollisesti saatujen hyötyjen visualisointiin. Tämän lisäksi kaavio soveltuu myös täysin erilaisten palveluiden vertailemiseen keskenään. Kaaviota voidaan hyödyntää kehitysalueiden esittämiseen sovelluksen kehittämisestä vastaaville osapuolille.

9.2.1 Käyttötapaukset

DiKiPa arviointikaaviolle on kolme erilaista käyttötapausta, palvelun kehitysasteen mukaan. Käyttötapaukset ovat takautuva arvio, ennakoiva arvio sekä jatkuva arvio.

Takautuvassa arviossa aiemmin käytössä ollut palvelu on uudistettu. Uudesta palvelusta tehtyä kaaviota verrataan kaavioon, joka on tehty aiemman palvelun pohjalta. Näin saadaan helposti esitettävää vertailutietoa palvelun uudistamisen vaikutuksista ja uuden palvelun hyödyistä.

Ennakoivassa arviossa olemassa olevalle palvelulle on suunnitella uudistuksia. Kaavio tehdään olemassa olevalle palvelulle, sekä myös tavoitteena olevalle uudelle palvelulle. Näitä verrataan keskenään, jolloin saadaan selkeämpi kuva tarvittavista muutoksista.

Jatkuva arvio alkaa myös tilanteesta, jossa suunnitellaan uudistuksia olemassa olevalle palvelulle. Olemassa olevasta palvelusta tehdään kaavio, jota verrataan tavoitteena olevaan palveluun. Palvelun uudistamisen aikana kaavioita voidaan hyödyntää tavoitteiden asettamiseen, niiden toteutumisen arviointiin, muutosten tekemiseen, sekä lopulta lopputuloksen arviointiin.

Arviointikaavion laatiminen yksittäiselle palvelulle ei vielä kerro kyseisen palvelun ominaisuuksista tai vahvuuksista, vaan kaavio soveltuu paremmin kahden tai useamman palvelun väliseen vertailuun. Osa-alueiden pisteytys tulee tällöin suorittaa aina suhteessa vertailtavan palvelun vastaavaan osa-alueeseen.

9.2.2 Esimerkki DiKiPa arviointikaavion käytöstä

Seuraavaksi esitetään esimerkki DiKiPa arviointikaavion käytöstä tässä työssä käsiteltyihin työkaluihin sovellettuna. Nämä työkalut ovat Smart Campus Tools -tutkimuksen mukaisia sovelluksia tilojen varaamiseen. Tässä esitetyt sovellukset eivät ole tällä hetkellä käytössä olevia tiettyjä sovelluksia, vaan edellä mainittujen lähteiden perusteella luotuja esimerkkejä.

Seuraavassa esimerkissä verrataan keskenään staattista tilanvaraussovellusta ja dynaamista tilanvaraussovellusta. Staattinen sovellus on esimerkiksi tilapalveluiden hallinnoima, verkkoselaimessa toimiva järjestelmä, johon käyttäjä voi kirjautua ja selata varattavien tilojen varauskalentereita. Käyttäjä voi myös lomakkeen avulla tehdä henkilökunnalle varauspyynnön tietystä tilasta. Henkilökunta käsittelee pyynnön ja lähettää vahvistuksen käyttäjälle sähköpostilla.

Dynaaminen tilanvaraussovellus on tilojen varaukseen luotu mobiilisovellus, jolla käyttäjä pystyy näkemään kiinteistön varattavien tilojen varaustilanteen reaaliajassa. Tilojen varaaminen onnistuu automaattisesti mobiilisovelluksen avulla. Varattavien tilojen käyttöä seurataan sensoreilla, joten tilan varaus poistuu, mikäli se on yhä käyttämättömänä tietyn ennalta määrätyn ajan varauksen alkamisesta.

Näiden kahden sovellusversion ominaisuudet on pisteytetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 8). Pisteytyksen yhteyteen on myös merkitty perustelut pisteiden antamiselle.

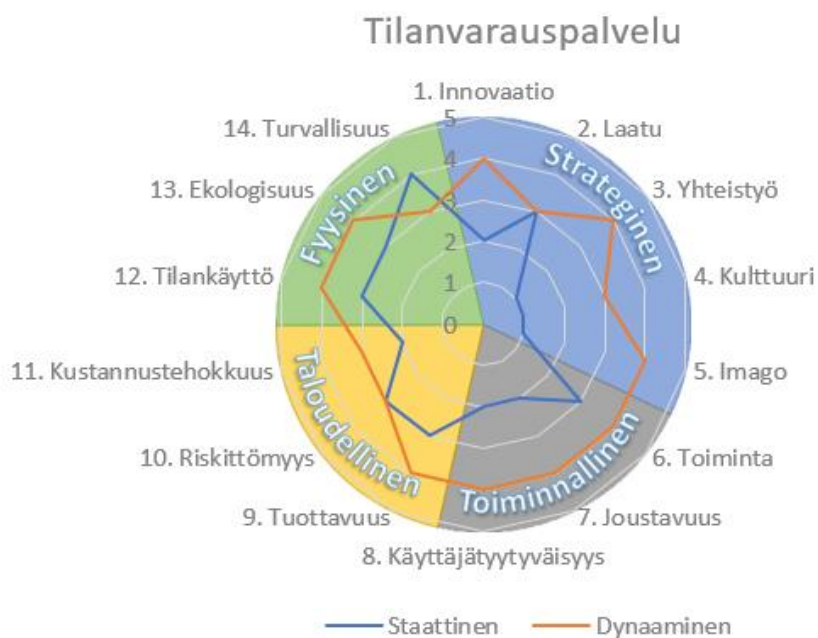
Taulukko 8. Staattisen ja dynaamisen tilanvaraussovelluksen osa-alueiden pisteytys perusteluineen arviointikaavion mukaisesti.

	Staattinen tilanvaraussovellus	Dynaaminen tilanvaraussovellus
1. Innovaatio	2/5 Innovaation taso on alhainen manuaalisen työn tarpeesta ja käyttöösiintymän alkeellisuudesta johtuen.	4/5 Sovelluksessa hyödynnetään uusia käyttötapoja ja se edistää osaltaan myös kiinteistön innovatiivisuutta.
2. Laatu	3/5 Sovelluksen laatu on hyvä. Sovellus ei juurikaan vaikuta kiinteistön laatuun.	3/5 Sovelluksen laatu on hyvä. Sovellus edistää kiinteistön laatua monipuolisempia palveluja tarjoamalla.
3. Yhteistyö	1/5 Sovellus ei juurikaan vaikuta yhteistyöhön kiinteistössä.	4/5 Sovellus edistää yhteistyötä tekemällä ryhmätyötilojen varaamisesta helpompaa.
4. Kulttuuri	1/5 Sovellus ei juurikaan vaikuta kulttuuriin kiinteistössä.	3/5 Helppokäyttöinen mobiilisovellus edistää hieman kiinteistön sisäistä kulttuuria.
5. Imago	1/5 Sovellus ei juurikaan edistä kiinteistön imagoa.	4/5 Helppokäyttöinen mobiilisovellus edistää myös kiinteistön imagoa lisäämällä sen houkuttelevuutta.
6. Toiminta	3/5 Sovellus edistää kiinteistön toimintaa.	4/5 Sovellus edistää kiinteistön toimintaa. Lisäksi monipuoliset ominaisuudet ja helppokäyttöisyys toimivat toiminnan eduksi.
7. Joustavuus	2/5	4/5

	Sovellus ei juurikaan edistä joustavuutta.	Helppokäyttöisyys edistää joustavuutta kiinteistön käyttäjien toiminnassa.
8. Käyttäjätyytyväisyys	2/5 Käyttäjälähtöisyys on huomioitu sovelluksen suunnittelussa, mutta sitä ei ole painotettu samalla tavalla kuin dynaamisessa sovelluksessa. Tyytyväisyysseuranta tapahtuu palvelusta saatujen valituksien perusteella ja niihin reagoimalla.	4/5 Staattista sovellusta käyttäjälähtöisempi ote sovelluksen suunnittelussa. Seuranta sovellukseen sisältyvän palautekanavan ja tyytyväisyyskyselyiden ja perusteella.
9. Tuottavuus	3/5 Sovellus edistää tuottavuutta parantamalla tilojen käyttöä.	4/5 Sovellus edistää tuottavuutta parantamalla tilojen käyttöä. Dynaamisen sovelluksen autonomisuus edistää tuottavuutta entisestään.
10. Riskittömyys	3/5 Palvelussa on henkilökunnan johdosta hieman riskitekijöitä toimintavarmuudessa.	3/5 Toiminta on autonomista ja varmaa, mutta ulkopuolisen mobiilialustan käyttö lisää riskejä toimintavarmuudessa.
11. Kustannustehokkuus	2/5 Juoksevat kustannukset ovat suuret verrattuna hyötyyn. Varauspyyntöjen käsitteleminen kuormittaa henkilökuntaa.	3/5 Autonominen varausjärjestelmä vähentää kustannuksia. Mobiilisovelluksen kehittäminen kuitenkin lisää kustannuksia.
12. Tilan käyttö	3/5 Tilanvaraussovellus keskittyy juuri tilojen käytön edistämiseen.	4/5 Dynaamisen sovelluksen käytöllä voidaan käyttää tiloja tehokkaammin, koska sovellus toimii reaaliajassa.

13. Ekologisuus	3/5 Tilanvaraussovellus edistää tilankäyttöä ja siten vähentää tilojen tarvetta, edistäen ekologisuutta.	4/5 Dynaamisen sovelluksen avulla voidaan tehostaa tilojen käyttöä entistään, mikä edistää myös ekologisuutta.
14. Turvallisuus	4/5 Turvallisuudessa ei ole merkittäviä riskitekijöitä.	3/5 Turvallisuuden riskit ovat hieman suuremmat mobiilialustan käytön johdosta.

Sovellusten välinen vertailu on esitetty seuraavassa kuvassa. Poikkeavuudet ovat helposti nähtävissä, kun vertailtavat palvelut on esitetty samassa kaaviossa.



Kuva 16. Tilanvaraussovellusten vertailu DiKiPa arviointikaavion avulla.

Yllä olevasta kuvasta voidaan huomata, että dynaaminen palvelu on vertailussa staattista palvelua parempi erityisesti toiminnallisuutta ja strategisuutta mittaavilla osa-alueilla. Staattinen palvelu menee kuitenkin dynaamisen palvelun edelle turvallisuudessa. Dynaaminen palvelu on kuitenkin keskimäärin staattista palvelua edistyksellisempi.

Arviointikaavion avulla tehty vertailu auttaa huomioimaan dynaamisen palvelun heikkouksia yksityisyydessä ja turvallisuudessa. Näitä osa-alueita voidaan siten pyrkiä parantamaan palvelua kehitettäessä.

10. JOHTOPÄÄTÖKSET

10.1 Digitaalisten kiinteistöpalveluiden nykytilanne

Kirjallisuuskatsauksen perusteella digitalisaatio ja esineiden internetin käyttäminen ovat kiinteistö- ja rakennusosalalla vielä alkuvaiheessa. Tätä väitöstä tukevat osaltaan myös kyselytutkimuksen tulokset, jotka kertovat älykkäiden digitaalisten kiinteistöpalveluiden vielä varhaisesta kehitysvaiheesta. Esineiden internetin ja teknologian nopean kehityksen myötä alalla odotetaan kuitenkin tapahtuvan muutoksia, jotka muokkaavat nykyisiä toimintatapoja ja liiketoimintarakenteita. Esineiden internetillä on monia sovelluskohteita kiinteistöpalveluissa. IoT-sensoriverkon avulla voidaan tehdä arkipäiväisistä toiminnoista tehokkaampia ja autonomisempia. Erilaisia prosesseja ja olosuhteita monipuolisesti seuraamalla, voidaan saada hyödyllistä uutta tietoa, jota voidaan käyttää prosessien kehittämisessä. Yksi sovelluskohde ovat yliopistokiinteistöjen tilanhallintatyökalut, joista voidaan esineiden internetin sensoriverkkojen avulla tehdä reaaliaikaisempia. Kyselytutkimuksen mukaan sensortechniikan käytön mahdollisuus ja potentiaali ovat yliopistokiinteistöissä olemassa, mutta niitä ei vielä Suomen yliopistoissa käytetä. Esimerkiksi Alankomaissa sensoreiden käyttö yliopistokiinteistöissä on pidemmällä. Yliopistojen tilanhallintasovelluksilla pyritään ensisijaisesti tukemaan käyttäjien toimintaa ja vähentämään tiloista aiheutuvia kuluja.

10.2 Digitaalisten kiinteistöpalveluiden kehittäminen

Digitaalisten kiinteistöpalveluiden kehittämisessä edetään usein tekniikan johdolla. Teknologian kehittymättömyys, mutta toisaalta sen nopea kehittyminen luovat haasteita pysyvien ja luotettavien ratkaisujen luomiseksi. Monipuolisten IoT-palveluiden kehittäminen vaatii liiketoiminnallisten ekosysteemien rakentamista ja suuren kokonaiskuvan näkemistä. Kehityksessä on monia haasteita, liittyen muun muassa tekniikkaan, turvallisuuteen sekä toimintamalleihin. Osa haasteista juontuu uuden ilmiön herättämisestä peloista, ennakkoluuloista ja asenteista sekä vakiintuneiden toimintamallien puutteesta.

10.3 Tutkimuksen rajoitukset

Tutkimukseen ja sen tuotoksena saatujen tulosten luotettavuuteen liittyy joitakin rajoitteita. Rajoitteet kohdistuvat tutkijan rooliin, kirjallisuuskatsaukseen ja siinä käsiteltyyn materiaaliin, kyselytutkimukseen, havainnointiin, sekä tuloksena saatujen digitaalisen kiinteistöpalvelun kaavioiden käytettävyyteen.

Kirjallisuuskatsausta rajoittavat käytettävissä oleva materiaali. IoT on tutkimusalan hyvin nopeasti etenevä, ja jo tutkimusprosessin aikana aiheesta on julkaistu paljon uusia

tutkimuksia. Tästä johtuen jotkin työssä viitatuista lähteistä saattavat vanhentua nopeasti. Tässä työssä on myös käytetty pelkästään TTY:llä käytössä olevaa kirjallisuusaineistoa, joten osa julkaistusta kirjallisuudesta on jäänyt tutkimuksen ulkopuolelle lukuoikeuden puuttuessa.

Kyselytutkimuksessa ei ole katettu jokaista Suomessa olevaa yliopistoa, vaan tutkimukseen otettiin mukaan kaksitoista opiskelijamääriltään suurinta yliopistoa. Näistä yliopistoista vastauksia saatiin seitsemältä yliopistolta, joten tulokset eivät edusta koko Suomea. Lisäksi annettujen vastausten alkuperää ja todenmukaisuutta voidaan kyseenalaistaa, sillä vastaukset kerättiin sähköpostilla lähetetyn linkin välityksellä. Kysymyksiin vastannut henkilö ei siten välttämättä edusta kyseessä olevaa yliopistoa täydellisesti. Lisäksi esimerkiksi sovelluksen tavoitteiden painottaminen saattaa vaihdella yksilöiden subjektiivisten näkemysten ja henkilökohtaisten muistikuvien myötä. Alankomaista annettujen kysymysten käyttäminen ei välttämättä sovellu sellaisenaan Suomen yliopistoihin ja niiden rakenteisiin. Esimerkiksi kampusmanagerin asema osoittautui Suomen yliopistoissa melko vieraaksi, joten tätä asemaa koskeviin kysymyksiin ei osattu vastata erityisen hyvin.

Havainnoinnissa rajoittavana tekijänä oli tutkijan rooli. Tutkimuksen suorittaneella tutkijalla ei ollut erityisen laajaa kokemusta tutkittavasta aihepiiristä, joten osa havainnoista on tästä syystä voinut jäädä huomioimatta. Tutkijan tekemät havainnot rajoittuvat lisäksi ainoastaan näiden neljän kokouksen aikana käsiteltyihin asioihin. Kyseiset havainnot kertovat pelkästään yksittäiseen projektiin, joten tulosten ei voida olettaa kertovan kiinteistöpalvelun kehittämisestä yleisesti.

Tutkimuksen tuotoksena luodut viitekehykset ovat vain yksi versio lukuisista ratkaisumalleista. Arviointikaaviossa on tutkijan tekemiä oletuksia siitä, mikä olisi hyödyllisin väline kiinteistöpalveluiden arviointiin. Kyseistä arviointimallia ei ole kuitenkaan testattu käytännössä, mikä on tärkeää suorittaa ennen mallin hyödyntämistä. Arviointimallia käytettäessä on tehtävä pisteytyksiä, jotka voivat tapahtua hyvin subjektiivisesti, vaikka mallin käytössä on pyrittävä mahdollisimman riippumattomaan arviointiin.

10.4 Tutkimuskokonaisuuden onnistumisen arviointi

Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää esineiden internetiä hyödyntävän kiinteistöpalvelun kehittämistä sekä mahdollisuuksia yliopistokiinteistöissä. Kirjallisuuskatsauksen avulla erilaisia mahdollisuuksia onnistuttiin kartoittamaan laajasti ja monipuolisesti, mutta aiheen laajuudesta johtuen varsin pintapuolisesti. Digitaalisen kiinteistöpalvelun kehittämistä tutkittiin käytännön pilottihankkeen yhteydessä, jolloin aiheesta saatiin konkreettista, muttei kuitenkaan suoraan yleistettävissä olevaa tietoa. Alatavoitteista digitalisaation ja esineiden internetin nykytilaa kiinteistöalalla tutkittiin paitsi kirjallisuuskatsauksen, myös kyselytutkimuksen avulla. Kyselytutkimus kertoi digitalisaation nyky-

tilasta vain tilanhallinnan sovellusten kautta, mutta kirjallisuuskatsaus täydensi tutkimusta kattamalla myös muita kiinteistöalan digitalisaation osa-alueita. Palvelun kehittämisen vaiheita selvitettiin havainnointitutkimuksen ja kirjallisuuskatsauksen avulla, ja niistä saatiin onnistuneesti koottua myös kehittämisessä auttava DiKiPa kehitystaulukko-viitekehys. Digitaalisten kiinteistöpalveluiden arviointiin onnistuttiin tutkimusaineiston pohjalta kehittämään DiKiPa arviointikehys. Erilaisten digitaalisten kiinteistöpalveluiden hyötyjä selvitettiin kirjallisuuskatsauksella, mutta konkreettisten hyötyjen selvittäminen jäi tutkimuksessa varsin matalalle tasolle.

10.5 Aiheita jatkotutkimuksiin

Tulosten varmistamiseksi sekä lisätietojen hankkimiseksi aiheesta on syytä tehdä jatkotutkimuksia. Suomen yliopistojen digitalisaation tilannetta voitaisiin kartoittaa tarkemmin. Yliopistoilla voi olla käytössään muita tilanhallintaan liittymättömiä kiinteistöpalveluita, joiden digitalisointitason tarkasteleminen olisi mielenkiintoista ja jotka voisivat kertoa kattavammin yliopistojen digitalisaatioasteesta. Tutkimusta voitaisiin laajentaa myös koskemaan kokonaisvaltaisemmin kaikki Suomen yliopistot sekä mahdollisesti myös muut korkeakoulut. Lisäksi tässä tutkimuksessa esitettyjä DiKiPa kehitystaulukkoa sekä DiKiPa arviointikaaviota olisi syytä testata käytännön digitaalisilla kiinteistöpalveluilla ja edistää niiden soveltuvuutta tulosten perusteella. Tämän tutkimuksen aihe on melko laaja, joten jatkotutkimuksissa voitaisiin keskittyä tarkennetumpaan aihealueeseen, esimerkiksi tiettyyn yksittäiseen digitaaliseen kiinteistöpalveluun. Esineiden internetiä hyödyntävien kiinteistöpalveluiden hyötyjä olisi myös hyödyllistä selvittää laajemmin.

LÄHTEET

- Aishah Kamarazaly, M., Mbachu, J. ja Phipps, R. 2013. Challenges faced by facilities managers in the Australasian universities, *Journal of Facilities Management*, 11(2), ss. 136–151.
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M. ja Ayyash, M. 2015. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), ss. 2347–2376.
- Alghamdi, A. ja Shetty, S. 2016. Survey toward a smart campus using the internet of things, teoksessa *Proceedings - 2016 IEEE 4th International Conference on Future Internet of Things and Cloud, FiCloud 2016*, ss. 235–239.
- Assuncao, M. D., Calheiros, R. N., Bianchi, S., Netto, M. A. S. ja Buyya, R. 2013. Big Data Computing and Clouds: Trends and Future Directions, *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 79–80, ss. 3–15.
- Bahn, H. 2016. Energy-efficient vertical transportation with sensor information in smart green buildings, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 40(1), s. 12079. Saatavissa: <http://stacks.iop.org/1755-1315/40/i=1/a=012079>.
- Barroca, N., Borges, L. M., Velez, F. J., Monteiro, F., Górski, M. ja Castro-Gomes, J. 2013. Wireless sensor networks for temperature and humidity monitoring within concrete structures, *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 40, ss. 1156–1166.
- Borgohain, T., Kumar, U. ja Sanyal, S. 2015. Survey of Security and Privacy Issues of Internet of Things, *arXiv preprint arXiv:1501.02211*, s. 7. Saatavissa: <http://arxiv.org/abs/1501.02211>.
- BREEAM. 2016. The Edge, Amsterdam. Saatavissa: <http://www.breeam.com/offices/the-edge-amsterdam/> (Viitattu: 13. joulukuuta 2017).
- Brena, R. F., García-Vázquez, J. P., Galván-Tejada, C. E., Muñoz-Rodríguez, D., Vargas-Rosales, C. ja Fangmeyer, J. 2017. Evolution of Indoor Positioning Technologies: A Survey, *Journal of Sensors*, 2017, ss. 1–21.
- Brownjohn, J. M. W. 2006. Structural health monitoring of civil infrastructure, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1851), ss. 589–622.
- Cetin, K. S. ja O'Neill, Z. 2017. Smart Meters and Smart Devices in Buildings: a Review of Recent Progress and Influence on Electricity Use and Peak Demand, *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*. Current Sustainable/Renewable Energy Reports, 4(1), ss. 1–7.
- Dietsch, P., Gamper, A., Merk, M. ja Winter, S. 2015. Monitoring building climate and timber moisture gradient in large-span timber structures, *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 5(2), ss. 153–165.

Dix, J. 2016. Otis Elevator looking to IoT, digital transformation to provide a business lift, *Network World*. Saatavissa: <http://www.networkworld.com/article/3076849/internet-of-things/otis-elevator-looking-to-iot-digital-transformation-to-provide-a-business-lift.html>.

European Commission 2016. Research & Innovation in Internet of Things. Saatavissa: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/research-innovation-iot> (Viitattu: 22. marraskuuta 2017).

Fleisch, E. 2010. What is the internet of things? An economic perspective, *Economics, Management, and Financial Markets*.

Gartner 2017. *Gartner Says 8.4 Billion Connected "Things" Will Be in Use in 2017, Up 31 Percent From 2016*. Egham, UK. Saatavissa: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3598917> (Viitattu: 19. heinäkuuta 2017).

Gokceli, S., Zhmurov, N., Kurt, G. K. ja Ors, B. 2017. IoT in Action: Design and Implementation of a Building Evacuation Service, *Journal of Computer Networks and Communications*. Hindawi Publishing Corporation, 2017, ss. 1–13.

Granlund 2017. Kiinteistöjen IoT-markkinakatsaus. Saatavissa: https://issuu.com/granlundoy/docs/granlund_iot-raportti_2017_issuu.

Haller, S., Karnouskos, S. ja Schroth, C. 2009. The Internet of Things in an Enterprise Context, teoksessa Domingue, J., Fensel, D., ja Traverso, P. (toim.) *Future Internet -- FIS 2008: First Future Internet Symposium, FIS 2008 Vienna, Austria, September 29-30, 2008 Revised Selected Papers*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, ss. 14–28.

Hirsijärvi, S., Remes, P. ja Sajavaara, P. 2007. *Tutki ja kirjoita*.

Hung, S.-S., Chang, C.-Y., Hsu, C.-J. ja Chen, S.-W. 2012. Analysis of Building Envelope Insulation Performance Utilizing Integrated Temperature and Humidity Sensors, *Sensors*, 12(12), ss. 8987–9005.

IBM Security 2017. Five indisputable facts about IoT security. Somers, NY: IBM, ss. 1–2. Saatavissa: www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?htmlfid=SEF03018USEN.

IoT-analytics 2017. IoT company ranking: The leading Internet of Things companies. Saatavissa: iot-analytics.com/company-ranking/ (Viitattu: 11. elokuuta 2017).

J.Y., Z., F.J., Y., Y.Q., G. ja Q., G. 2014. Study on the anti-theft system for notebooks on campus, *Applied Mechanics and Materials*, 687–691, ss. 2161–2164.

JLL 2016. Reinventing facilities management for the digital world.

Kaihovaara, A., Haila, K., Noro, K., Salminen, V., Härmälä, V., Halme, K., Mikkilä, K., Saarnivaara, V. ja Pekkala, H. 2017. Innovaatioekosysteemit elinkeinoelämän ja tutkimuksen yhteistyön vahvistajina.

Khan, O. 2017. IoT is so 2017 – The future is Autonomous Networks. Helsinki: Nordic Smart Building Convention 2017.

- Krco, S., Pokric, B. ja Carrez, F. 2014. Designing IoT architecture(s): A European perspective. teoksessa *2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*. IEEE, ss. 79–84.
- Leminen, S., Westerlund, M., Rajahonka, M. ja Siuruainen, R. 2012. Towards IOT Ecosystems and Business Models, teoksessa Andreev, S., Balandin, S., ja Koucheryavy, Y. (toim.) *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking: 12th International Conference, NEW2AN 2012, and 5th Conference, ruSMART 2012, St. Petersburg, Russia, August 27-29, 2012. Proceedings*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, ss. 15–26.
- Li, S., Xu, L. Da ja Zhao, S. 2015. The internet of things: a survey, *Information Systems Frontiers*, 17(2), ss. 243–259.
- Ma, M., Wang, P. ja Chu, C.-H. 2013. Data Management for Internet of Things: Challenges, Approaches and Opportunities, teoksessa *2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing*. IEEE, ss. 1144–1151.
- Maeda, N., Hirabe, Y., Arakawa, Y. ja Yasumoto, K. 2016. COSMS: Unconscious Stress Monitoring System for Office Worker, teoksessa *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct*. New York, NY, USA: ACM (UbiComp '16), ss. 329–332.
- Manville, C., Cochrane, G., Cave, J., Millard, J., Pederson, J. K., Thaarup, R. K., Liebe, A., Wissner, M., Massink, R. ja Kotterink, B. 2014. Mapping smart cities in the EU., European Parliament: Policy Department, Economic and Scientific Policy.
- Mendez, D. M., Papapanagiotou, I. ja Yang, B. 2017. Internet of Things: Survey on Security and Privacy, ss. 1–16. Saatavissa: <https://arxiv.org/pdf/1707.01879.pdf>.
- Merz, H., Hansemann, T. ja Hübner, C. 2009. Building Automation, Science. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Signals and Communication Technology).
- Moreno, M., Úbeda, B., Skarmeta, A. ja Zamora, M. 2014. How can We Tackle Energy Efficiency in IoT Based Smart Buildings?, *Sensors*, 14(6), ss. 9582–9614.
- Mufti, A. A., Bakht, B., Tadros, G., Horosko, A. T. ja Sparks, G. 2005. Are Civil Structural Engineers ``Risk Averse``? Can Civionics Help?, teoksessa Ansari, F. (toim.) *Sensing Issues in Civil Structural Health Monitoring*. Dordrecht: Springer Netherlands, ss. 3–12.
- Möller, K., Rajala, A. ja Svahn, S. 2005. Strategic business nets — their type and management, *Journal of Business Research*, 58, ss. 1274–1284.
- Pi, Y. B. 2014. Campus Tracking System Based on IoT, *Applied Mechanics and Materials*, 599–601, ss. 1416–1419.
- Pitkäranta, M. 2016. *Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus*. Turenki: Ympäristöministeriö.
- Puhto, J. 2016. Digitaalisuuden nykytila ja kehityssuunnat kiinteistö- ja rakennusallalla,

Digiselvitys 2016. Helsinki.

Radovan, M. ja Golub, B. 2017. Trends in IoT security, teoksessa *2017 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*. IEEE, ss. 1302–1308.

Reinisch, C., Kastner, W., Neugschwandtner, G. ja Granzer, W. 2007. Wireless Technologies in Home and Building Automation, teoksessa *2007 5th IEEE International Conference on Industrial Informatics*. IEEE, ss. 93–98.

Rinaldi, S., Bittenbinder, F., Liu, C., Bellagente, P., Tagliabue, L. C. ja Ciribini, A. L. C. 2016. Bi-directional interactions between users and cognitive buildings by means of smartphone app, teoksessa *IEEE 2nd International Smart Cities Conference: Improving the Citizens Quality of Life, ISC2 2016 - Proceedings*.

Rytkönen, E. 2015. University campuses in spatial transformation: A business model typology of case Aalto University, *Facilities*, 33(13/14), ss. 794–818.

Schneider Electric 2016a. IoT 2020 Business Report, ss. 1–20. Saatavissa: http://www2.schneider-electric.com/documents/presentation/en/local/2016/04/998-19699217_IoT_Report_2016_v2.pdf.

Schneider Electric 2016b. The Rise of IoT is Prompting Facility Pros to Invest in Analytics. Oxford University Press.

Service design 2011. London : TSO . Saatavissa: http://tut.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHCXMwbV1LSwQxDA6ycxEUXFQcV2H_wC4282qPi7jKgJ4UH5ehnbTgZU7j_zfpTnFRoRQaSGkhhZrHlwIUuL5Z_boTgvfWWG2t7vumMFTp2tdErmm8cqUXKPHrBz6-VW2r36fa0QKNGb_GdfgcBst9wh4wTZxyKCBgtnsylA-UZ5Bt2qf7lyRLSiJae6pKadZM5U9lciw.

Sethi, P. ja Sarangi, S. R. 2017. Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications, *Journal of Electrical and Computer Engineering*. Hindawi Publishing Corporation, 2017(3), ss. 1–25.

Shadbolt, N., Berners-Lee, T. ja Hall, W. 2006. The Semantic Web Revisited, *IEEE Intelligent Systems*, 21(3), ss. 96–101.

Shukla, S. ja Shukla, N. 2017. Smart Waste Collection System based on IoT (Internet of Things): A Survey, *International Journal of Computer Applications*, 162(3), ss. 42–44.

Subakti, H. ja Jiang, J.-R. 2017. A marker-based cyber-physical augmented-reality indoor guidance system for smart campuses, teoksessa *Proceedings - 18th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications, 14th IEEE International Conference on Smart City and 2nd IEEE International Conference on Data Science and Systems, HPCC/SmartCity/DSS 2016*, ss. 1373–1379.

Valks, B., Arkesteijn, M., den Heijer, A. ja Vande Putte, H. 2016. Smart Campus Tools - Management Summary. Delft.

Walden, L. (InsideIQ B. A. A. 2016. The Internet of Things and Intelligent Facilities

Management, *HPAC Engineering*. Saatavissa: <http://www.hpac.com/training/calendar-hvacr-training-and-education-events>.

Want, R. 2004. RFID: A Key to Automating Everything, *Scientific American*, 290(1), ss. 56–65.

Weinberger, M., Bilgeri, D. ja Fleisch, E. 2016. IoT business models in an industrial context, *at - Automatisierungstechnik*, 64(9), ss. 699–706.

Weng, T. ja Agarwal, Y. 2012. From Buildings to Smart Buildings—Sensing and Actuation to Improve Energy Efficiency, *IEEE Design & Test of Computers*, 29(4), ss. 36–44.

Westerlund, M., Leminen, S. ja Rajahonka, M. 2014. Designing business models for the internet of things, *Technology Innovation Management Review*. Talent First Network, 4(7), s. 5.

Whitmore, A., Agarwal, A. ja Da Xu, L. 2015. The Internet of Things—A survey of topics and trends, *Information Systems Frontiers*, 17(2), ss. 261–274.

World Economic Forum 2015. Industrial Internet of Things: Unleashing the Potential of Connected Products and Services. Saatavissa: http://reports.weforum.org/industrial-internet-of-things/?doing_wp_cron=1500898878.3448410034179687500000.

LIITE A: SMART CAMPUS TOOLS KYSELY

Osa 1. Perustiedot

1	Yliopiston nimi
2	Työkalun nimi ja selite Esimerkiksi: SmartCampusSpaces - tilanhallintajärjestelmä
3	Kehitysvaihe Missä vaiheessa työkalun kehitys on? <ul style="list-style-type: none"> • Tutkimusasteella – Jos työkalu on osa meneillä olevaa tieteellistä tutkimusprojektia • Tuotekehityksessä – Jos työkalu ei ole vielä "valmis markkinoille", mutta sitä kehitetään sellaiseksi • Testauksessa – Jos työkalu on valmis tuote, jota testataan pienessä mittakaavassa • Käytössä – Jos työkalu on täysin käyttöön otettu
4	Mittakaava Kuinka monessa rakennuksessa työkalu on käytössä ja mikä on niiden tilojen yhteenlaskettu pinta-ala, joissa kyseistä työkalua hyödynnetään? Rakennusten lukumäärä (kpl) Tilojen yhteenlaskettu pinta-ala (m2)
5	Käyttöaika Millä aikavälillä työkalu on ollut käytössä? Esim. 2014 - nykyään käytössä.
6	Toiminnot Mitkä ovat työkalun toiminnot? Yksi tai useampia. <ul style="list-style-type: none"> • Reitin löytäminen • Tilan varaaminen • Vapaan työtilan löytäminen • Tilankäytön seuranta • Järjestelmien yhdistäminen esim. tietojen automaattinen siirto eri sovel-lusten välillä • Tietyn työtilan mukavuuden parantaminen esim. tilasta annettavan pa-lautteen avulla • Jokin muu:
7	Tilatyyppit Millaisten tilojen yhteydessä työkalu on käytössä? Yksi tai useampia. <ul style="list-style-type: none"> • Opetustilat • Opiskelutilat • Projektihuoneet

	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratoriot • Toimistotilat • Kokoushuoneet • Koko rakennus • Jokin muu:
--	---

Osa 2. Työkalun kehitys ja kustannukset

	Kenttä
8a	Työkalun kuvaus: Hankkiminen Lisää lyhyt kuvaus työkalun hankinnasta. Miksi hankintaprojekti aloitettiin ja mitä ongelmia sillä pyrittiin ratkaisemaan? Miksi kyseinen työkalu valittiin ja mitkä ovat sen hyödyt aikaisempaan ratkaisuun nähden?
8b	Työkalun kuvaus: Ulkoasu Lisää tähän kuva, joka esittää miltä työkalu näyttää (työkalun käyttöliittymä).
9a	Tavoitteet Mitä tavoitteita kyseisen työkalun avulla pyritään saavuttamaan? Asteikko 1: ei oleellinen tavoite - 5: ensisijainen tavoite. <ul style="list-style-type: none"> • Edistää innovaatiota • Parantaa tilojen laatua • Vahvistaa yhteistyötä • Tukee kulttuuria • Edistää imagoa • Tukee käyttäjän toimintaa • Lisää joustavuutta • Lisää käyttäjätyytyväisyyttä • Lisää tuottoa • Vähentää riskejä • Vähentää kustannuksia • Vähentää tarvittavaa rakennuspinta-alaa • Pienentää hiilijalanjälkeä • Parantaa turvallisuutta
9b	Tavoitteet Lisää lyhyt kuvaus edellä mainituista tavoitteista. Kerro, miten tavoitteet saavutetaan tai on jo saavutettu (työkalun avulla saadut konkreettiset käytännön hyödyt).
10	Investointikustannukset (€) Mikä on työkalun investointikulujen kokonaissumma? Investointikuluihin kuuluvat maksut, jotka on täytynyt suorittaa kerran työkalun käyttöön ottamiseksi. Esim. Projektin aloittaminen, työkalun kehityskustannukset, laitteet, testaus.
11	Käyttökustannukset (€)

	Mitkä ovat työkalun käyttökustannukset? Käyttökustannuksiin kuuluvat maksut, jotka täytyy suorittaa vuosittain työkalun ylläpitämiseksi. Esim. Ohjelmistojen lisenssimaksut, sensoreiden huolto ja kunnossapito, palvelintila.
12	Tulevaisuuden kehitysnäkymät Kerro lyhyesti työkaluun liittyvistä tulevaisuuden suunnitelmista. Lisäykset tai parannukset olemassa olevaan työkaluun, korvaaminen jollain toisella työkalulla jne.

Osa 3. Seuranta ja menetelmät

13a	Seurantakohde Kuinka kampuksen tilojen käyttöä seurataan työkalun yhteydessä ? Yksi tai useampia. <ul style="list-style-type: none">• Käyttöaste: Onko tila käytössä (kyllä tai ei.)• Täyttöaste: Montako henkilöä on tilassa.• Käyttäjä: Kuka tilassa on.• Toiminta – Mitä tilassa olevat henkilöt tietyllä hetkellä tekevät tai miten he liikkuvat.
13b	Seurantakohde Lisää lyhyt kuvaus tilankäytön seurannasta. Esim. selvitys siitä, mitä käytännössä seurataan tai mitataan. Mikäli käyttäjän henkilöllisyyttä tai toimintaa seurataan, kerro miten yksityisyys on näissä otettu huomioon.
14a	Seurantamenetelmä Mitä seurantamenetelmiä käytetään työkalun yhteydessä? Mikäli seurannassa hyödynnetään sensoreita, kerro millaista sensoria käytetään. Vaihtoehtoja: Bluetooth, Wi-Fi, Infrapunasensorit, GPS, RFID, aktiivisuusrannekkeet jne. <ul style="list-style-type: none">• Manuaalinen laskenta (silmämääräinen laskenta tai arviointi)• Varausten seuranta• Sensoridata
14b	Seurantamenetelmä Lisää tarkempi kuvaus käytössä olevista tietolähteistä. Kuka suorittaa silmämääräisen laskennan? Millaisia sensorilaitteita käytetään?
15a	Tiedon tarkkuus Millä tarkkuudella (taajuudella) tietoa kerätään? Tämä voi vaihdella toimintojen välillä. Valitse silloin kaikkien toimintojen tiedonkeräystarkkuudet.
15b	Tiedon tarkkuus Lisää lyhyt kuvaus tiedon tarkkuudesta. Esim. tarkempi selvitys kerätyn tiedon tarkkuudesta tai erittely eri toimintoihin liittyvistä tietojen keräystaajuuksista.

Osa 4. Käyttäjäprofiilit

16a	Käyttöoikeudet Kenellä on käyttöoikeus tai pääsy työkaluun? Tämä voi vaihdella eri toimintojen välillä. Valitse silloin kaikki mahdolliset käyttäjät. <ul style="list-style-type: none"> • Johtava/hallinnoiva taho esim. kampusmanageri • Tukipalvelut esim. IT- tai tilapalvelut • Peruskäyttäjät (esim. opiskelijat tai henkilökunta) • Kaikille avoin pääsy
16b	Käyttöoikeudet Lisää lyhyt kuvaus käyttöoikeuksista, tiivistäen kenellä on pääsy ja minne. Esim. opiskelijat tilanvaraukseen ja tilapalvelut raportointityökaluun. Mikäli tuotteessa on osia, jotka ovat kaikille avoimia, kerro mihin avoimen pääsyn toiminnot rajoittuvat.
17a	Peruskäyttäjän saama tieto Lisää lyhyt kuvaus työkalun toiminnasta sekä tiedosta, jonka peruskäyttäjä saa palvelun kautta. Esim. opiskelijoilla karttojen katseluoikeus ja opiskelutilojen varausoikeus tai opetushenkilökunnalla opetustilojen varausoikeus.
17b	Peruskäyttäjän saama tieto Lisää tähän kuva, jossa on esimerkki peruskäyttäjälle saatavissa olevasta tiedosta.
18a	Hallinnoivan tahon saama tieto Lisää lyhyt kuvaus työkalun toiminnasta hallinnoivan tahon näkökulmasta sekä tiedosta, jonka kyseinen taho saa palvelun kautta. Esim. kampusmanagerilla tilankäyttöraporttien katseluoikeus.
18b	Hallinnoivan tahon saama tieto Lisää tähän kuva, jossa on esimerkki hallinnoivalle taholle saatavilla olevasta tiedosta.
	Muuta huomioitavaa Tähän voi lisätä ylimääräisiä kommentteja työkalusta. Esim. sellaisia huomioita, jotka saattaisivat olla hyödyllisiä muiden yliopistoiden tilanhallinta- tai kehitystiimeille.

LIITE B: SMART CAMPUS TOOLS SOVELLUSTEN TAVOITTEET



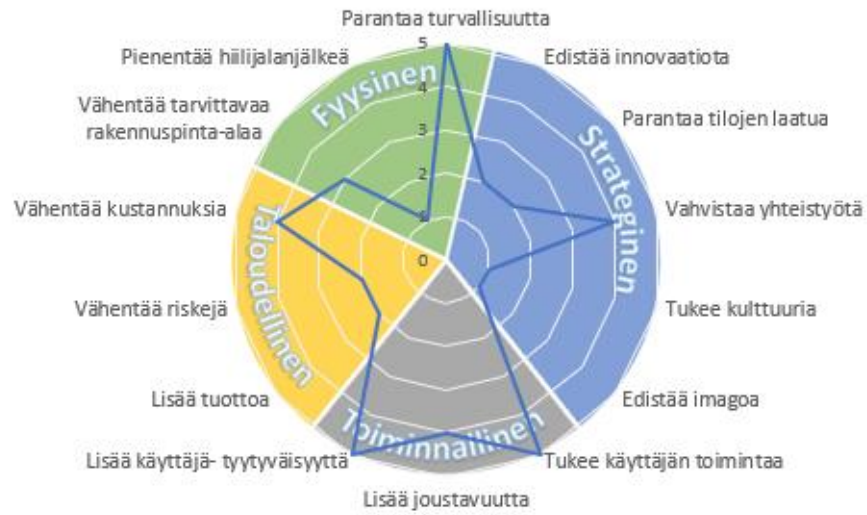
Sovellus 3



Sovellus 4



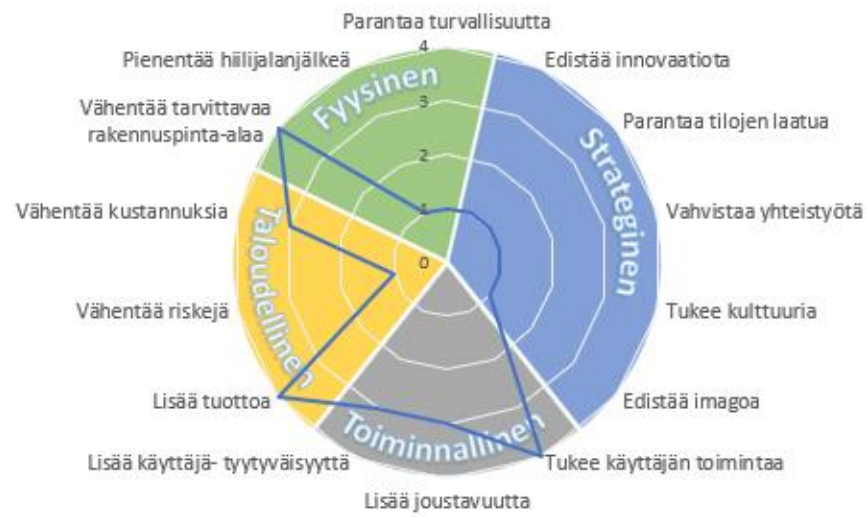
Sovellus 5



Sovellus 6



Sovellus 7



Sovellus 8

